Natural History Museum Library
000265132

MÉMOIRES

DE L'ACADÉMIE ROYALE

DES

SCIENCES, DES LETTRES ET DES BEAUX-ARTS

DE BELGIQUE.

S. 301. D. 35.

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE ROYALE

DES

SCIENCES, DES LETTRES ET DES BEAUX-ARTS

DE BELGIQUE.

TOME XXXV.

BRUXELLES,

M. HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE.

1865.

BRITISH MUSEUM
NATURAL HISTORY.

LISTE DES MEMBRES,

DES

CORRESPONDANTS ET DES ASSOCIÉS DE L'ACADÉMIE.

(1er octobre 1865.)

LE ROI, Protecteur.

M. L. Alvin, président pour 1865.
» Ad. Quetelet, secrétaire perpétuel.

COMMISSION ADMINISTRATIVE.

Le directeur de la classe des Sciences, M. Nerenburger.
» » des Lettres, M. J. Grandgagnage.
» » des Beaux-Arts, M. L. Alvin.
Le Secrétaire perpétuel, M. Ad. Quetelet.
Le délégué de la classe des Sciences, M. J. S. Stas, trésorier.
» » des Lettres, M. M. N. J. Leclercq.
» » des Beaux-Arts, M. De Busscher.

CLASSE DES SCIENCES.

M. Nerenburger, directeur pour 1865.
» Ad. Quetelet, secrétaire perpétuel.

30 MEMBRES.

Section des sciences mathématiques et physiques (15 membres).

M.	Quetelet, A. J. L.; à Bruxelles.	Élu le 1er février 1820.
»	Plateau, J. A. F.; à Gand	— 15 décemb. 1836.
»	Stas, J. S.; à Bruxelles.	— 14 décemb. 1841.
»	De Koninck, L. G.; à Liége.	— 15 décemb. 1842.
»	De Vaux, Ad. J. J.; à Bruxelles	— 16 décemb. 1846.
»	Nerenburger, G. A.; à Bruxelles	— 15 décemb. 1849.
»	Melsens, H. L. F.; à Bruxelles.	— 15 décemb. 1850.
»	Schaar, M.; à Gand	— 15 décemb. 1851.
»	Liagre, J. B. J.; à Bruxelles	— 15 décemb. 1853.
»	Duprez, F. J.; à Gand	— 16 décemb. 1854.
»	Brasseur, J. B.; à Liége.	— 14 décemb. 1855.
»	Houzeau, J. C.; à Bruxelles	— 15 décemb. 1856.
»	Quetelet, Ernest; à Bruxelles	— 15 décemb. 1863.
»	Maus, M. H. J.; à Mons.	— 15 décemb. 1864.
»	Gloesener, Michel; à Liége.	— 15 décemb. 1864.

Section des sciences naturelles (15 membres).

M.	D'Omalius d'Halloy, J. B. J.; à Halloy . . .	Nommé le 3 juillet 1816.
»	Vander Maelen, P. M. G.; à Bruxelles. . . .	Élu le 10 janvier 1829.
»	Du Mortier, B. C.; à Tournai	— 2 mai 1829.
»	Wesmael, C.; à Bruxelles	— 15 décemb. 1835.
»	Van Beneden, P. J.; à Louvain.	— 15 décemb. 1842.
»	le baron de Selys-Longchamps, Edm.; à Liége.	— 16 décemb. 1846.
»	le vicomte Du Bus, B. A. L.; à Bruxelles. . .	— 16 décemb. 1846

M. Nyst, Henri P.; à Bruxelles. . . . . Élu le 17 décemb. 1847.
» Gluge, Théophile; à Bruxelles. . . . . — 15 décemb. 1849.
» Poelman, Charles; à Gand . . . . . — 16 décemb. 1857.
» Dewalque, G.; à Liége . . . . . — 16 décemb. 1859.
» Candèze, E.; à Liége. . . . . — 15 décemb. 1864.
» Spring, Ant. F.; à Liége. . . . . — 15 décemb. 1864.
» Coemans, Eugène; à Gand . . . . . — 15 décemb. 1864.
» N. . . . . .

CORRESPONDANTS (10 au plus).

M. Donny, F. M. L.; à Gand . . . . . Élu le 15 décemb. 1850.
» Montigny, Charles; à Anvers . . . . . — 16 décemb. 1857.
» Chapuis, F.; à Verviers . . . . . — 15 décemb. 1858.
» Morren, Édouard; à Liége. . . . . — 15 décemb. 1861.
» Steichen, M.; à Bruxelles . . . . . — 15 décemb. 1861.

50 ASSOCIÉS.

Section des sciences mathématiques et physiques (25 associés).

M. Vène, A.; à Paris . . . . . Élu le 2 février 1824.
» Babbage, Ch.; à Londres. . . . . — 7 octobre 1826.
» Herschel, John F. W.; à Londres. . . . . — 7 octobre 1826.
» South, James; à Londres . . . . . — 10 novemb. 1827.
» Sabine, Ed.; à Londres . . . . . — 2 février 1828.
» Chasles, M.; à Paris. . . . . — 4 février 1829.
» Van Rees, R.; à Utrecht. . . . . — 6 mars 1830.
» Brewster, David; à Édimbourg . . . . . — 5 avril 1834.
» Matteucci, Ch.; à Pise . . . . . — 8 novemb. 1834.
» Bache, Alex. D.; à Washington . . . . . — 9 mai 1842.
» De la Rive, Aug.; à Genève. . . . . — 9 mai 1842.
» Dumas, J. B.; à Paris. . . . . — 17 décemb. 1843.
» Faraday, Michel; à Woolwich . . . . . — 17 décemb. 1847.
» Lamarle, Ern.; à Gand . . . . . — 17 décemb. 1847.
» Wheatstone, Ch.; à Londres . . . . . — 15 décemb. 1849.
» le baron Von Liebig, Juste; à Munich. . . . — 15 décemb. 1851.
» Airy, G. B.; à Greenwich . . . . . — 15 décemb. 1853.
» Maury, M.; à Washington . . . . . — 16 décemb. 1854.

M. Hansteen, Ch.; à Christiania . . . . . Élu le 14 décemb. 1855.
» Argelander, F. G. A.; à Bonn . . . . . — 15 décemb. 1856.
» Lamont; à Munich . . . . . — 16 décemb. 1859.
» Hansen, P. A.; à Gotha . . . . . — 15 décemb. 1864.
» Kekulé, E.; à Gand . . . . . — 15 décemb. 1864.
» N. . . . . .
» N. . . . . .

Section des sciences naturelles (25 associés).

M. Moreau de Jonnès, Alex.; à Paris . . . . . Élu le 21 mai 1825.
» Bertoloni, Ant.; à Bologne . . . . . — 6 octobre 1827.
» Granville, A. B.; à Londres . . . . . — 6 octobre 1827.
» Barrat, John; à Grassinton-Moor. . . . . — 1er mars 1828.
» Taylor, John; à Londres . . . . . — 1er mars 1828.
» De Macedo; à Lisbonne . . . . . — 15 décemb. 1836.
» Decaisne, Jos.; à Paris . . . . . — 15 décemb. 1836.
» Schwann, Th.; à Liége . . . . . — 14 décemb. 1841.
» De Martius, Ch. Fr. Ph.; à Munich . . . . — 9 mai 1842.
» Lacordaire, Th. J.; à Liége. . . . . — 15 décemb. 1842.
» Owen, Richard; à Londres. . . . . — 17 décemb. 1847.
» Élie De Beaumont, J. B.; à Paris . . . . . — 17 décemb. 1847.
» Edwards, Henri Milne; à Paris. . . . . — 15 décemb. 1850.
» Flourens, M. J. P.; à Paris. . . . . — 15 décemb. 1853.
» Murchison, sir Roderick; à Londres . . . . — 14 décemb. 1855.
» Schlegel; à Leide. . . . . — 16 décemb. 1857.
» Agassiz, Louis; à Boston . . . . . — 15 décemb 1858.
» Haidinger, Guillaume; à Vienne . . . . . — 15 décemb. 1858.
» Von Baer, Ch. E.; à Saint-Pétersbourg . . . — 16 décemb. 1859.
» Lyell, Charles; à Londres . . . . . — 16 décemb. 1859.
» Valentin; à Berne. . . . . — 15 décemb. 1861.
» Gervais, P.; à Montpellier . . . . . — 15 décemb. 1862.
» Dana, James D.; à New-Haven . . . . . — 15 décemb. 1864.
» Brongniart, Adolphe T.; à Paris . . . . . — 15 décemb. 1864.
» N. . . . . .

CLASSE DES LETTRES.

M. Grandgagnage, directeur pour 1865.
» Ad. Quetelet, secrétaire perpétuel.

30 MEMBRES.

Section des lettres et Section des sciences morales et politiques réunies.

M.	Steur, Ch.; à Gand	Élu le 5 décemb. 1829.
»	le baron de Gerlache, E. C.; à Bruxelles	— 12 octobre 1833.
»	Grandgagnage, F. C. J.; à Liége	— 7 mars 1835.
»	De Smet, J. J.; à Gand	— 6 juin 1835.
»	Roulez, J. E. G.; à Gand	— 15 décemb. 1837.
»	le baron Nothomb, J. B.; à Berlin	— 7 mai 1840.
»	Van de Weyer, Sylvain; à Londres	— 7 mai 1840.
»	Gachard, L. P.; à Bruxelles	— 9 mai 1842.
»	Quetelet, A. J. L.; à Bruxelles	Nommé le 1er déc. 1845.
»	Van Praet, Jules; à Bruxelles	Élu le 10 janvier 1846.
»	Borgnet, A. C. J.; à Liége	— 10 janvier 1846.
»	le baron de Saint-Genois, Jules; à Gand	— 10 janvier 1846.
»	David, J. B.; à Louvain	— 10 janvier 1846.
»	Devaux, P. L. I.; à Bruxelles	— 10 janvier 1846.
»	De Decker, P. J. F.; à Bruxelles	— 10 janvier 1846.
»	Snellaert, F. A.; à Gand	— 11 janvier 1847.
»	Haus, J. J.; à Gand	— 11 janvier 1847.
»	Bormans, J. H.; à Liége	— 11 janvier 1847.
»	Leclercq, M. N. J.; à Bruxelles	— 17 mai 1847.
»	Polain, M. L.; à Liége	— 7 mai 1849.
»	Baguet, F. N. J. G.; à Louvain	— 6 mai 1850
»	le baron de Witte, J. J. A. M.; à Anvers	— 6 mai 1851.
»	Faider, Ch.; à Bruxelles	— 7 mai 1855.
»	Ducpetiaux, Éd.; à Bruxelles	— 4 mai 1859.
»	le baron Kervyn de Lettenhove, J. M. B. C.; à Bruges	— 4 mai 1859.
»	Chalon, R.; à Bruxelles	— 4 mai 1859.

M. Mathieu, Adolphe C. G.; à Bruxelles . . . . . Élu le 19 mai 1863.
» Thonissen, J. J.; à Louvain. . . . . — 9 mai 1864.
» N. . . . . .
» N. . . . . .

CORRESPONDANTS (10 au plus).

M. Gruyer, Louis; à Bruxelles . . . . . Élu le 10 janvier 1846.
» Serrure, C. P.; à Gand. . . . . — 11 janvier 1847.
» Juste, Théodore; à Bruxelles . . . . . — 26 mai 1856.
» Defacqz, E.; à Bruxelles. . . . . — 26 mai 1856.
» Guillaume, H. L. G.; à Bruxelles . . . . . — 9 mai 1860.
» Wauters, Alphonse; à Bruxelles . . . . . — 9 mai 1860.
» Nève, Félix; à Louvain . . . . . — 9 mai 1860.
» Blommaert, Philippe; à Gand . . . . . — 9 mai 1860.

50 ASSOCIÉS.

M. De Moléon, J. G. V.; à Paris . . . . . Élu le 14 octobre 1820.
» Lenormand, L. Séb.; à Paris . . . . . — 14 octobre 1820.
» De la Fontaine; à Luxembourg . . . . . — 23 décemb. 1822.
» Cousin, Victor; à Paris . . . . . — 6 octobre 1827.
» Cooper, C. P.; à Londres. . . . . — 5 avril 1834.
» Mone, F. J.; à Carlsruhe . . . . . — 7 mai 1840.
» Groen van Prinsterer; à La Haye . . . . . — 15 décemb. 1840.
» Phillips, G.; à Vienne . . . . . — 15 décemb. 1842.
» Ellis, Henry; à Londres . . . . . — 9 février 1846.
» Guizot, F. P. G.; à Paris . . . . . — 9 février 1846.
» Mignet, F. A. A.; à Paris . . . . . — 9 février 1846.
» De la Sagra, Ramon; à Madrid . . . . . — 9 février 1846.
» Ranke, Léopold; à Berlin . . . . . — 9 février 1846.
» Salva, Miguel; à Madrid . . . . . — 9 février 1846.
» Warnkoenig, L. A.; à Stuttgart . . . . . — 9 février 1846.
» le baron Dupin, Charles; à Paris . . . . . — 11 janvier 1847.
» Leemans, C.; à Leide. . . . . — 11 janvier 1847.

M.	Mittermaier, C. J. A.; à Heidelberg	Élu le 11 janvier 1847.
»	Pertz, G. H.; à Berlin	— 11 janvier 1847.
»	le comte Manzoni, A.; à Milan	— 17 mai 1847.
»	Nolet de Brauwere van Steeland, J.; à Bruxelles.	— 7 mai 1849.
»	De Bonnechose, Em.; à Paris	— 7 mai 1849.
»	Whewell, W.; à Cambridge	— 7 mai 1849.
»	le duc de Caraman, V. A. C.; à Beaumont . .	— 7 mai 1849.
»	le comte de Laborde, Léon; à Paris	— 6 mai 1851.
»	Le Clerc, Victor; à Paris	— 7 mai 1855.
»	le comte de Montalembert, C.; à Paris . . .	— 7 mai 1855.
»	le chevalier de Rossi, J. B.; à Rome. . . .	— 7 mai 1855.
»	Rau, C. H.; à Heidelberg	— 7 mai 1855.
»	Paris, A. Paulin; à Paris	— 26 mai 1856.
»	De Longpérier, Adrien; à Paris	— 26 mai 1856.
»	De Reumont, Alfred; à Rome	— 26 mai 1856.
»	le baron de Barante; à Paris	— 4 mai 1859.
»	Bogaers, A.; à Rotterdam	— 4 mai 1859.
»	le baron de Czoernig, Ch.; à Vienne	— 4 mai 1859.
»	Minervini; à Naples	— 4 mai 1859.
»	Lafuente, Modeste; à Madrid	— 4 mai 1859.
»	Grote, Georges; à Londres	— 9 mai 1860.
»	Theiner, Augustin, à Rome	— 9 mai 1860.
»	De Köhne, Bernard; à Saint-Pétersbourg . .	— 13 mai 1861.
»	Cantù, César; à Milan	— 13 mai 1861.
»	Löher, à Munich	— 13 mai 1862.
»	De Vries, Mathieu; à Leide	— 19 mai 1863.
»	le chevalier d'Arneth, à Vienne	— 9 mai 1864.
»	Disraeli, Benjamin; à Londres	— 9 mai 1864.
»	Wolowski, Louis; à Paris	— 10 mai 1865.
»	Renier, Léon; à Paris	— 10 mai 1865.
»	Thiers, Adolphe, à Paris	— 10 mai 1865.
»	N.	
»	N.	

CLASSE DES BEAUX-ARTS.

M. L. Alvin, directeur pour 1865.
» Ad. Quetelet, secrétaire perpétuel.

30 MEMBRES.

Section de Peinture:

M.	De Keyzer, N.; à Anvers	Nommé le 1er décemb. 1845.
»	Gallait, Louis; à Bruxelles	— 1er décemb. 1845.
»	le baron Leys, H.; à Anvers	— 1er décemb. 1845.
»	Madou, Jean; à Bruxelles	— 1er décemb. 1845.
»	Navez, F. J.; à Bruxelles	— 1er décemb. 1845.
»	Verboeckhoven, Eugène; à Bruxelles . . .	— 1er décemb. 1845.
»	le baron Wappers, G.; à Anvers	— 1er décemb. 1845.
»	De Braekeleer, F.; à Anvers	Élu le 8 janvier 1847.
»	Portaels, Jean; à Bruxelles	— 4 janvier 1855.

Section de Sculpture :

M.	Geefs, Guillaume; à Bruxelles.	Nommé le 1er décemb. 1845.
»	Simonis, Eugène; à Bruxelles	— 1er décemb. 1845.
»	Geefs, Joseph; à Anvers	Élu le 9 janvier 1846.
»	Fraikin, C. A.; à Bruxelles.	— 8 janvier 1847.

Section de Gravure :

M.	Franck, Joseph; à Bruxelles	Élu le 7 janvier 1864.
»	N.	

Section d'Architecture :

M.	Partoes, H. L. F.; à Bruxelles	Élu le 8 janvier 1847.

M. Balat, Alph ; à Bruxelles. . . . . Élu le 9 janvier 1862.
» Payen, A.; à Bruxelles. . . . . — 9 janvier 1862.
» Deman, G.; à Bruxelles. . . . . — 12 janvier 1865.

Section de Musique :

M. De Bériot, Ch.; à Bruxelles . . . . . Nommé le 1er décemb. 1845.
» Fétis, Fr. Jos.; à Bruxelles . . . . . — 1er décemb. 1845.
» Hanssens, Ch. L.; à Bruxelles. . . . . — 1er décemb. 1845.
» Vieuxtemps, H.; à Bruxelles . . . . . — 1er décemb. 1845.
» le chevalier de Burbure, Léon; à Anvers . Élu le 9 janvier 1862.

Section des Sciences et des Lettres dans leurs rapports avec les Beaux-Arts :

M. Alvin, Louis J.; à Bruxelles . . . . . Nommé le 1er décemb. 1845.
» Quetelet, A. J. L.; à Bruxelles . . . . — 1er décemb. 1845.
» Van Hasselt, André; à Bruxelles. . . . — 1er décemb. 1845.
» Fétis, Ed.; à Bruxelles. . . . . Élu le 8 janvier 1847.
» De Busscher, Edm.; à Gand . . . . . — 5 janvier 1854.
» N. . . . . .

CORRESPONDANTS (10 au plus.)

Pour la Peinture :

M. De Biefve, Édouard; à Bruxelles. . . . Élu le 9 janvier 1846.
» Dyckmans, J. L.; à Anvers . . . . . — 8 janvier 1847.

Pour la Sculpture :

M. Jehotte, Louis; à Bruxelles . . . . . Élu le 9 janvier 1846.

Pour la Gravure :

M. Jouvenel, A.; à Bruxelles . . . . . Élu le 8 janvier 1847.
» Verswyvel, Michel C. A.; à Anvers. . . — 22 septemb. 1852.

Pour la Musique:

M. Bosselet, C. F.; à Bruxelles . . . . . Élu le 22 septemb. 1852.

Pour les Sciences et les Lettres dans leurs rapports avec les Beaux-Arts :

M. Siret, Adolphe; à St-Nicolas . . . . . Élu le 4 janvier 1855.

50 ASSOCIÉS.

Pour la Peinture :

M. De Cornelius, P.; à Berlin . . . . . Élu le 6 février 1846.
» Landseer, E.; à Londres . . . . . — 6 février 1846.
» Kaulbach, W.; à Munich . . . . . — 6 février 1846.
» Ingres, J. A. D.; à Paris . . . . . — 8 janvier 1847.
» Becker, J.; à Francfort . . . . . — 8 janvier 1847.
» Haghe, L.; à Londres . . . . . — 8 janvier 1847.
» Schnetz, J. V.; à Paris. . . . . — 22 septemb. 1852.
» Picot, François; à Paris . . . . . — 7 janvier 1858.
» Robert-Fleury, à Paris. . . . . — 7 janvier 1864.
» Gérome; à Paris. . . . . — 12 janvier 1865.
» N. . . . . .

Pour la Sculpture :

M. Tenerani, Pierre; à Rome. . . . . Élu le 8 janvier 1847.
» Dumont, A. A.; à Paris . . . . . — 22 septemb. 1852.
» le comte de Nieuwerkerke, Alf.; à Paris . . — 22 septemb. 1852.
» Royer, L.; à Amsterdam . . . . . — 22 septemb. 1852.
» Kiss, A. C.; à Berlin . . . . . — 8 janvier 1863.
» Foley, T. H. R. A.; à Londres . . . . . — 8 janvier 1863.
» Cavelier, P. J.; à Paris . . . . . — 7 janvier 1846.
» N. . . . . .

Pour la Gravure :

M. Forster, François; à Paris. . . . . Élu le 6 février 1846.
» Henriquel-Dupont, L. P.; à Paris. . . . . — 8 janvier 1847.
» Calamatta, L. A. J.; à Milan . . . . . — 8 janvier 1847.
» Bovy, Ant.; à Paris. . . . . — 8 janvier 1847.
» Mercuri, Paul; à Rome . . . . . — 8 janvier 1857.
» Oudiné, E. A.; à Paris . . . . . — 8 janvier 1857.
» Martinet, Achille; à Paris. . . . . — 7 janvier 1858.
» Mandel, Éd.; à Berlin . . . . . — 12 janvier 1865.

Pour l'Architecture :

M.	Donaldson, Thom.; à Londres	Élu le	6 février	1846.
»	Forster, Louis; à Vienne	—	5 janvier	1854.
»	Viollet-le-duc, E. E.; à Paris	—	8 janvier	1863.
»	Leins; à Stuttgart	—	7 janvier	1864.
»	Hittorf, J. I.; à Paris	—	7 janvier	1864.
»	Daly, César; à Paris	—	12 janvier	1865.
»	N.			

Pour la Musique :

M.	Rossini, J.; à Paris	Élu le	6 février	1846.
»	Auber, D. F. E.; à Paris	—	6 février	1846.
»	Daussoigne-Méhul, J.; à Liége	—	6 février	1846.
»	Lachner, Fr.; à Munich	—	8 janvier	1847.
»	Mercadante, S.; à Naples	—	22 septemb.	1852.
»	Thomas, Ambroise; à Paris	—	8 janvier	1863.
»	David, Félicien; à Paris	—	8 janvier	1863.
»	Verdi, Giuseppe; à Busetto	—	12 janvier	1865.

Pour les Sciences et les Lettres dans leurs rapports avec les Beaux-Arts :

M.	Bock, C. P.; à Fribourg en Breisgau . . .	Élu le	6 février	1846.
»	Waagen, Gust.; à Berlin	—	8 janvier	1847.
»	De Coussemaker, Éd.; à Lille	—	8 janvier	1847.
»	Gerhard, Éd.; à Berlin.	—	8 janvier	1847.
»	le comte de Caumont, A.; à Caen.	—	22 septemb.	1848.
»	Quaranta, Bernard; à Naples.	—	5 janvier	1854.
»	Ravaisson, F.; à Paris	—	10 janvier	1856.
»	N.			

NÉCROLOGIE.

CLASSE DES SCIENCES.

M. Cantraine, F.; membre, decédé le 22 décembre 1865.
» Timmermans, A.; membre, décédé le 31 août 1864.
» Kickx, J.; membre, décédé le 1er septembre 1864.
» d'Udekem, J.; membre, décédé le 10 décembre 1864.
» Struve, G.; associé, décédé le 11 novembre 1864.
» Encke, J. F.; associé, décédé le 26 août 1865.

CLASSE DES LETTRES.

M. de Ram, P. F. X.; membre, décédé le 14 mai 1865.
» Arendt, G. A.; membre, décédé le . . . août 1865.
» Rafn, C. C.; associé, décédé le 20 octobre 1864.
» Backhuyzen Vanden Brinck; associé, décédé le 15 juillet 1865.
» de Hurter, Frédéric; associé, décédé le 27 août 1865.
» Senior, G. Nassau; associé, décédé le . . . juin 1864.

CLASSE DES BEAUX-ARTS.

M. Braemt, J. P.; membre, décédé le 1er décembre 1864.
» Demanet, A.; membre, décédé le 28 mai 1865.
» Stüler, A.; associé, décédé le 18 mars 1865.
» Duret, F. J.; associé, décédé le 25 mai 1865.

TABLE

DES MÉMOIRES CONTENUS DANS LE TOME XXXV.

CLASSE DES SCIENCES.

Nouvelles recherches sur les lois des proportions chimiques, sur les poids atomiques et leurs rapports mutuels; par M. J. S. Stas.

Sur la stabilité des systèmes liquides en lames minces; par M. Ernest Lamarle.

Recherches sur les ossements provenant du crag d'Anvers : Les Squalodons; par M. P. J. Van Beneden.

Recherches sur les Bdellodes (*Hirudinées*) et les Trématodes marins; troisième et quatrième appendices; par MM. P. J. Van Beneden et C. E. Hesse.

Mémoire sur les Lombricins; par M. d'Udekem.

Observations des phénomènes périodiques des plantes et des animaux, pendant les années 1861 et 1862.

CLASSE DES LETTRES.

Mémoire historique sur la guerre de Maximilien, roi des Romains, contre les villes de Flandre (1482-1488); par M. J. J. De Smet.

Mémoire sur l'organisation judiciaire, les lois pénales et la procédure criminelle de l'Égypte ancienne; par M. J. J. Thonissen.

NOUVELLES RECHERCHES

SUR

LES LOIS DES PROPORTIONS CHIMIQUES,

SUR

LES POIDS ATOMIQUES

ET

LEURS RAPPORTS MUTUELS;

PAR

M. J.-S. STAS,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE, PROFESSEUR A L'ÉCOLE MILITAIRE.

—

(Présenté à l'Académie, le 14 janvier 1865.)

NOUVELLES RECHERCHES

SUR

LES LOIS DES PROPORTIONS CHIMIQUES,

SUR

LES POIDS ATOMIQUES

ET

LEURS RAPPORTS MUTUELS.

INTRODUCTION.

J'ai l'honneur de présenter à l'Académie trois Mémoires renfermant l'exposé détaillé des travaux que j'ai entrepris au sujet des lois des proportions chimiques, des poids atomiques et de leurs rapports mutuels. J'ai exécuté ces travaux dans le but de soumettre à un nouveau contrôle les résultats que j'ai fait connaître en 1860 dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques* [1], et de répondre en même temps à des objections faites contre les conclusions si radicales, je l'avoue volontiers, par lesquelles j'ai cru, après mûre réflexion, devoir terminer ce Mémoire. Autant qu'il m'a été

[1] Quoique les chimistes n'attachent jamais à l'expression *rapports réciproques* la signification de *rapports inverses* qu'elle a en arithmétique, je l'ai cependant remplacée dans le titre actuel par les mots *rapports mutuels*, afin de rendre la confusion impossible.

possible de le faire, j'ai résumé dans cette introduction les différentes questions que j'ai traitées, les résultats auxquels je suis arrivé et les conséquences qui en découlent. J'ai agi ainsi afin de donner à ceux qui ne s'intéressent point aux détails analytiques une idée de l'ensemble de mes travaux, et de dégager les faits de la pensée qui m'a dirigé.

Prout a posé en principe que les poids atomiques de tous les corps simples sont des multiples en nombres entiers de celui de l'hydrogène. Je l'ai déjà dit dans mon précédent travail, l'unité admise par Prout fut bientôt reconnue inexacte; mais l'idée qu'il avait introduite dans la science fut regardée par un grand nombre de chimistes comme parfaitement fondée en fait. M. Dumas notamment, profondément convaincu de l'exactitude du principe de Prout, admit que tous les poids atomiques sont des multiples de celui de l'hydrogène, par 1,00, ou par 0,50, ou par 0,25. Mes recherches sur l'azote, le chlore, le soufre, le potassium, le sodium, le plomb et l'argent, publiées en 1860, m'ont conduit, au contraire, à cette conclusion « qu'il n'existe point de commun » diviseur entre les poids des corps simples qui s'unissent pour former toutes » les combinaisons définies. » J'ai considéré, en conséquence, l'hypothèse de Prout comme une pure illusion, et j'ai regardé tous les corps réputés indécomposables comme des êtres distincts n'ayant aucun rapport simple de poids entre eux.

En m'en rapportant aux témoignages publics et privés, ces conclusions, quelque absolues qu'elles semblent, ont été acceptées par un grand nombre de chimistes en Allemagne, en Angleterre et en Italie. Il n'en a pas été de même en France. Le motif de cette différence d'appréciation réside dans la conviction profonde qu'ont produite, dans l'esprit d'un grand nombre de chimistes français, les travaux de mon illustre maître sur le même sujet.

Quelque délicate que soit ma position dans cette question, je vais rechercher le fondement de cette conviction. A cet effet, je me propose d'examiner les observations faites contre les conclusions de mon travail. J'examinerai ensuite le principe qui a inspiré Prout lorsqu'il a émis son hypothèse; je donnerai enfin un résumé des différents travaux que j'ai entrepris soit pour répondre aux objections, soit pour contrôler mes recherches, soit pour en faire de nouvelles.

A peine mon Mémoire avait-il paru que M. Marignac s'est empressé d'en donner une analyse dans la *Bibliothèque universelle de Genève* [1], en la faisant suivre de quelques objections contre les conclusions que j'ai déduites de mes expériences, conclusions qu'il trouve trop absolues. Qu'il me soit permis de passer sous silence l'appréciation que le célèbre chimiste génevois a faite de mon travail, pour arriver directement à ses observations. Je les cite pour la plupart *in extenso*, afin de mettre chacun à même de les apprécier.

« Si j'ai rappelé, dit M. Marignac [2], à côté des nombres de M. Stas, » ceux que j'avais obtenus autrefois, ce n'est point dans le but unique » d'en signaler le grand rapprochement; il me semble que l'on peut en » tirer une conséquence importante. Je puis bien reconnaître, après avoir » étudié le beau travail de ce savant, qu'il a apporté dans ses expériences des » soins infiniment plus minutieux que ceux que j'avais cru devoir prendre, » soit pour la purification des corps soumis à ses recherches, soit pour » l'exactitude des pesées, soit pour toutes les précautions qui pouvaient être » imaginées dans le but d'écarter toute cause d'erreur. Ses résultats offrent » donc beaucoup plus de garanties d'exactitude que les miens, et cependant » on voit combien peu ils en diffèrent, et l'on remarquera surtout qu'ils ne » sont point en moyenne plus rapprochés que les miens des chiffres calculés » d'après la loi de Prout. Il me semble qu'il est permis de conclure de là que, » si après de nouveaux perfectionnements apportés soit dans les moyens de » purification des corps, soit dans les méthodes expérimentales, quelque » chimiste vient plus tard à reprendre la même série d'expériences avec de » plus grandes garanties encore d'exactitude, la différence qui pourra se » manifester entre ses résultats et ceux de M. Stas sera très-probablement du » même ordre que celle qui existe entre ceux-ci et les miens, et qu'il n'en » ressortira pas un accord plus grand avec la loi de Prout.

» Mon opinion sur ce point étant énoncée, on s'étonnera peut-être que je » ne me range pas entièrement aux conclusions admises par M. Stas, savoir » qu'on doit considérer la loi de Prout comme une pure illusion, et regarder

[1] *Archives des sciences physiques et naturelles* (nouvelle période), t IX, année 1860, p. 97.
[2] *Idem*, page 105.

» les corps indécomposables de notre globe comme des êtres distincts n'ayant » aucun rapport simple de poids entre eux. Qu'on me permette, ajoute » M. Marignac, quelques observations sur ces conséquences, qui me parais- » sent trop absolues ; elles porteront sur deux points distincts.

» Et d'abord, j'avoue que je ne serai convaincu de l'exactitude d'un poids » atomique, ou plutôt que je ne me ferai une idée nette du degré de confiance » qu'elle mérite que lorsque ce poids aura été obtenu par plusieurs méthodes » absolument indépendantes les unes des autres, reposant sur l'analyse de » plusieurs composés tout à fait distincts. »

Je partage entièrement l'opinion de M. Marignac sur ce point, et ce qui le prouve, c'est que, dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, j'ai donné des éléments absolument indépendants pour calculer le poids atomique de l'argent, quoique cependant mes expériences eussent pour but principal la détermination des rapports des poids atomiques et non pas les poids atomiques eux-mêmes. Du reste, on le verra plus loin, j'ai essayé de satisfaire au désir exprimé par M. Marignac.

« J'ajoute expressément, continue M. Marignac, que j'entends par des » méthodes différentes celles qui reposent sur l'analyse ou la synthèse de » composés absolument distincts, et non pas seulement celles qui ne diffè- » rent que par la manière de faire réagir les mêmes composés. Ainsi lorsque, » dans mon premier travail, j'ai invoqué comme preuve d'exactitude la coïn- » cidence du rapport observé entre l'argent et le chlorure de potassium avec » celui que l'on aurait calculé d'après d'autres expériences, donnant le rap- » port direct entre le chlore et l'argent, ou lorsque M. Stas invoque comme » un contrôle de la synthèse de l'azotate d'argent, les expériences par » lesquelles il a déterminé le rapport proportionnel entre cet azotate et le » chlorure de potassium relié lui-même directement à l'argent, je ne vois » là qu'une confirmation de l'exactitude avec laquelle ont été faites les expé- » riences, mais nullement celle de la méthode expérimentale elle-même. »

Je ne puis partager sur ce point l'opinion de mon célèbre contradicteur. La concordance des résultats obtenus à l'aide de ce contrôle prouve non-seulement que les expériences ont été faites avec exactitude, mais encore que la synthèse de l'azotate d'argent, de même que la composition normale de ce

sel, ne se concilient pas avec la loi de Prout. En effet, pour échapper à cette conséquence nécessaire, M. Marignac est obligé de faire *une hypothèse qui est la négation du principe sur lequel repose la détermination des poids atomiques.*

« Si, par une cause quelconque, dit-il, l'azotate d'argent dans les condi-
» tions les plus normales de sa préparation ne renferme pas ses éléments dans
» les proportions rigoureuses de leurs poids atomiques, toutes les méthodes
» les plus exactes appliquées à son analyse ou à sa synthèse donneront avec
» la même inexactitude le rapport de ces poids.

» C'est là en effet la cause principale du doute qui règne encore dans mon
» esprit. Il ne m'est pas absolument démontré que bien des corps composés
» ne renferment pas constamment et normalement un excès, très-faible sans
» doute, mais sensible dans des expériences très-délicates, de l'un de leurs
» éléments. »

L'objection de M. Marignac signifie qu'il n'est pas démontré que, dans les combinaisons chimiques stables (et j'admets que l'azotate et le sulfure d'argent sont dans ce cas), les éléments qui les constituent sont exactement et d'une manière invariable dans le rapport de leurs poids atomiques. Il me semble que cette opinion, si elle est fondée en fait, conduit au renversement de toutes les notions fondamentales; la loi des proportions définies, la loi des proportions multiples, cessent d'être des lois mathématiques, elles deviennent forcément des lois limites. L'hypothèse de l'existence d'atomes n'a plus de raison scientifique d'être; en effet, elle n'a d'autre fondement solide que la *constance réelle et non point virtuelle* des combinaisons, et l'*invariabilité réelle et non point virtuelle* des rapports en poids des éléments qui les forment.

Je ne me dissimule pas que parmi les notions fondamentales de la chimie il en existe une foule, comme dans toutes les autres sciences, que l'on a admises comme étant démontrées, et qui sont bien loin de l'être. Examinons donc ce qui en est pour la loi des proportions définies. Elle repose sur les analyses et les synthèses exécutées depuis un siècle bientôt. Ces deux données ne me semblent laisser aucun doute, même pour l'esprit le plus exigeant, sur l'exactitude du fait généralement admis de la constance de toute combinaison;

mais la constance de composition de toute combinaison ne prouve pas que les rapports en poids, que leurs éléments observent, doivent se maintenir d'une manière absolue dans des combinaisons avec d'autres corps. Ainsi la composition du sulfure et du sulfate de baryum peut être constante, sans que pour cela le rapport en poids du soufre au baryum dans le sulfure soit absolument identique au rapport que ces mêmes corps présentent entre eux dans le sulfate de baryum. Le caractère fondamental que l'on observe dans certaines doubles décompositions, c'est-à-dire le *maintien de la neutralité* du liquide au sein duquel ce phénomène s'est accompli, et qui a porté Wenzel, il y a un siècle bientôt, à supposer l'existence d'une loi, ne démontre pas rigoureusement que les rapports relatifs des métaux alcalins et terreux qui se remplacent dans une quantité donnée d'un même acide sont les mêmes pour tous les acides, pas plus que *l'altération de cette neutralité* ne démontre que ces rapports relatifs ne sont pas les mêmes.

Les travaux de Wollaston et de Gay-Lussac, sur lesquels on s'est appuyé au commencement de ce siècle, n'offrent point le degré de précision voulu pour en déduire avec certitude que l'hypothèse de Dalton, connue sous le nom de *loi des proportions multiples*, est l'expression d'une *loi mathématique* ou simplement d'une *loi limite*.

Lorsqu'on pèse bien toutes les raisons qui ont guidé les chimistes pour considérer la loi de Wenzel et l'hypothèse de Dalton comme des vérités démontrées, on reste convaincu qu'ils se sont plutôt basés sur la constance de composition des combinaisons que sur une démonstration expérimentale rigoureuse de ces lois. En se plaçant au point de vue strict des principes, on peut donc révoquer en doute qu'il soit prouvé que les corps composés, produits dans les conditions normales de leur formation, renferment leurs éléments dans les proportions rigoureuses des poids de leurs atomes. Du moment que les lois des proportions chimiques peuvent être envisagées comme des *lois limites*, quelque improbable que cela soit, les partisans de l'hypothèse de Prout peuvent supposer, comme le fait M. Marignac, que si les poids atomiques déterminés à l'aide de l'expérience ne coïncident pas exactement avec l'hypothèse du chimiste anglais, cet écart provient de ce que les combinaisons ne renferment pas leurs éléments dans les rapports exacts de leurs poids ato-

miques. Dans ce cas, tout moyen de soumettre la loi de Prout à une vérification expérimentale échappe à nos investigations. La détermination des poids atomiques perd également de l'importance qu'on a attribuée jusqu'ici à ces poids comme *constantes de la nature*, parce qu'on a la certitude *a priori* que l'expérience la plus exacte ne peut fournir que des *poids atomiques moyens ou limites*, et non plus les vrais rapports des poids des atomes.

Mais si, à mon tour, j'examine la base sur laquelle repose l'hypothèse de Prout et la probabilité de son exactitude, avec la rigueur que j'ai mise à chercher à me convaincre si les lois des proportions chimiques sont démontrées comme lois mathématiques, j'arrive à d'autres incertitudes que celles que la méthode scientifique stricte laisse au sujet des lois fondamentales des combinaisons chimiques. M. Marignac l'a rappelé, le principe qui a porté Prout à émettre son hypothèse est celui de l'unité de la matière. Le chimiste anglais a cru voir cette unité dans l'hydrogène. Je l'ai déjà dit, les travaux de M. Penny, de Glasgow, et de M. Marignac, ont prouvé qu'elle est de moitié au moins trop grande en ce qui concerne le chlore. M. Marignac et M. Dumas ont démontré le même fait pour le baryum; de plus, leurs recherches ont établi qu'elle est quatre fois trop grande pour le strontium; enfin, je crois avoir démontré qu'elle est huit fois trop grande pour le potassium, et au moins seize fois trop grande pour l'azote.

Je le sais, de l'inexactitude du choix de l'unité admise par Prout ne résulte pas nécessairement le renversement de son hypothèse, car l'idée de Prout est indépendante de la grandeur de l'unité, comme M. Marignac l'a fait observer le premier. En effet, l'hypothèse subsiste, soit qu'elle s'applique à des corps existants, connus ou non, soit même à une matière première n'ayant plus d'existence actuelle. En admettant ces considérations comme fondées, je suis naturellement conduit à examiner en principe la légitimité des conclusions des chimistes qui s'appuient sur l'expérience pour considérer l'hypothèse comme l'expression d'une loi naturelle probable.

Lorsqu'on remonte à l'origine de l'hypothèse, on s'aperçoit immédiatement qu'elle doit sa source à un préjugé, ou, si l'on veut, à une opinion préconçue concernant la *simplicité des lois de la nature*. Pendant longtemps les chimistes comme les physiciens, dès l'instant qu'ils ont vu certains faits se

reproduire avec une *apparence* de régularité, ont cru à l'existence d'une loi naturelle susceptible d'être exprimée par une relation mathématique *simple;* de plus ils ont contracté l'habitude de considérer la loi comme démontrée du moment qu'ils avaient exécuté ou des pesées ou des mesures qui ne s'en écartaient pas trop. La confiance dans le préjugé était telle, qu'ils attribuaient invariablement, soit à la méthode d'observation, soit à l'erreur inévitable dans l'expérience, les différences qu'ils observaient. Cette tendance de l'esprit, et je dirai volontiers des plus grands esprits, a fait considérer comme lois mathématiques rigoureusement démontrées, la loi de Boyle ou de Mariotte, la loi de Gay-Lussac concernant la dilatation des gaz par la chaleur, la loi de Dulong et Petit relative aux chaleurs spécifiques des corps : on sait cependant aujourd'hui à ne pas en douter que ce sont des lois limites, si tant est même qu'on puisse maintenir comme telle la relation établie par Dulong et Petit entre les poids atomiques et les chaleurs spécifiques.

C'est à cette même tendance, d'ailleurs très-naturelle, qu'on doit l'hypothèse de Prout. Il me serait par trop aisé de prouver que le chimiste anglais s'est contenté d'*à peu près,* autorisés peut-être à son époque, pour conclure que les faits se conciliaient avec son opinion. Je rendrai plutôt hommage au but élevé qu'il s'est proposé en l'émettant; mais aujourd'hui nous avons le droit et le devoir même d'être plus exigeants envers les partisans de son hypothèse. Quoique cet exposé serve de réponse aux objections de M. Marignac, je n'examinerai pas non plus si ses admirables travaux nous autorisent à admettre la probabilité de l'exactitude de la loi de Prout. J'aurais mauvaise grâce à le faire, puisque le célèbre chimiste génevois ne croit pas plus que moi qu'on parvienne à concilier l'expérience avec l'hypothèse de Prout. Il ne me reste donc pour cet examen que les recherches publiées par M. Dumas; c'est d'ailleurs sur elles que tous les partisans de l'hypothèse de l'unité de la matière se fondent pour la considérer comme l'expression d'une loi naturelle. Je vais examiner avec une réserve que les chimistes voudront bien apprécier, je l'espère, si les résultats consignés dans son *Mémoire sur les équivalents des corps simples* démontrent la loi ou la rendent probable.

Si l'on en excepte une ou deux, toutes les déterminations consignées par M. Dumas dans ce travail reposent sur les poids atomiques de l'argent et du

chlore représentés respectivement par 108 et par 35,5. Aucune de ces deux valeurs n'a été fixée expérimentalement par lui. Il les a déduites des travaux de M. Marignac, qui, reliant l'argent au chlore directement par la synthèse du chlorure et l'analyse du chlorate d'argent, et indirectement par le chlorure et le chlorate de potassium, a trouvé de 107,91 à 107,92 pour le poids atomique de l'argent, et 35,455 pour le poids atomique du chlore. A la vérité, mon illustre maître a cherché si la composition du chlorure d'argent peut se représenter par le rapport de 108 à 35,50, et il a trouvé en effet qu'il en est ainsi; mais en admettant même ce fait, du reste fort contestable, en résulte-t-il que les poids atomiques de l'argent et du chlore sont respectivement 108 et 35,5? Évidemment non; car tous poids atomiques de ces deux corps, qui sont entre eux rigoureusement dans le même rapport, satisfont à la condition de la composition.

Pour que les conséquences que l'on déduit du rapport de 108 à 35,50 soient légitimes, il faut donc avoir démontré *a priori* que ces chiffres représentent les véritables poids atomiques de l'argent et du chlore. Or, les travaux de M. Marignac et les recherches publiées postérieurement par d'autres chimistes ne permettent point de considérer ce fait comme prouvé. Des déterminations qui méritent le plus de confiance, il ne résulte même pas qu'il soit probable.

Lorsque M. Marignac a tenté la synthèse du chlorure et l'analyse du chlorate d'argent, pour déduire de ces deux données le poids atomique de leurs éléments en fonction de l'oxygène, il a signalé dans l'analyse du chlorate une cause d'erreur dont l'effet est plutôt d'augmenter le poids atomique que de le diminuer. J'ai constaté la même cause d'erreur, comme je l'expose plus loin. Et cependant le résultat est en sens inverse de celui que la cause d'erreur devrait produire; au lieu de conduire à un chiffre supérieur à 108, il a donné 107,91. Les travaux de M. Marignac, interprétés dans le sens de ses propres observations, ne nous autorisent donc point à admettre comme démontré, ni même comme probable, que le poids atomique de l'argent est 108 et celui du chlore 35,50. Mais je vais supposer pour un moment que je m'abuse dans mes appréciations : la base sur laquelle M. Dumas a fondé ses déterminations étant donc admise, ses recherches *prouvent*-elles que les

poids atomiques des corps sur lesquels mon illustre maître a opéré sont bien réellement multiples par 1,00, par 0,50 ou par 0,25? Je ne le pense pas. En effet, quelles que soient son habileté et sa pénétration bien connues pour découvrir et éviter les causes d'erreur dans l'expérience, les quantités de matières employées n'ont jamais été assez grandes pour que les résultats obtenus puissent renfermer en eux les éléments d'une démonstration. Mon opinion, mûrement réfléchie, n'a jamais varié à ce sujet. Lorsqu'on veut démontrer que les poids atomiques sont multiples par 1,00, ou par 0,50, ou par 0,25, il me semble évident que dans ce cas les résultats d'où l'on déduit ces conséquences doivent rester constants dans la décimale de chacun de ces facteurs. Ainsi, pour rendre ma pensée plus claire, je dirai : pour qu'on puisse considérer comme prouvé que certains poids atomiques sont multiples de 0,25, il faut que *dans l'expérience* la deuxième décimale de la valeur du poids atomique reste constante. En agissant autrement, on déduit la loi de l'hypothèse et non pas de l'expérience.

Or, en examinant à ce point de vue les déterminations faites par M. Dumas, on reste convaincu que, quelque admirable que soit leur degré de précision, elles ne satisfont point suffisamment à ces conditions. A mon avis, elles ne peuvent même pas y satisfaire; car, en supposant absolument pures les matières sur lesquelles il a opéré, comment faire la part du fait naturel ou de la loi, et de l'erreur de l'observation, lorsque cette erreur est aussi grande dans la majeure partie des cas que la différence qu'il s'agit de constater?

On ne peut donc pas se baser sur ces déterminations pour considérer l'hypothèse de Prout comme étant l'expression d'une loi naturelle probable, et moins encore d'une loi démontrée, pour les corps auxquels ces déterminations s'appliquent.

Si les observations que je viens de présenter sont exactes, la démonstration de l'hypothèse, qui incombe à celui qui la proclame une vérité naturelle, sera d'autant plus difficile à faire qu'on diminuera davantage l'unité. Les chimistes qui abaissent cette unité, à mesure que l'expérience rigoureuse démontre le peu de fondement de l'unité proposée, se méprennent donc étrangement sur les conséquences des principes qu'ils posent.

Mais, je le reconnais, tout ce que l'on peut objecter contre la loi de Prout

ne peut remplacer la démonstration rigoureuse de la loi des proportions définies, démonstration qui incombe à ceux qui se basent sur elle pour déclarer non fondée l'hypothèse du chimiste anglais. L'objection de M. Marignac, qui doute que les corps composés renferment leurs éléments dans les proportions rigoureuses de leurs poids atomiques, subsiste donc dans toute sa force, et conserve la valeur que lui donne l'autorité de son nom. Il résulte de tout ce qui précède, que le problème que j'ai essayé de résoudre n'est pas susceptible d'une solution rigoureuse, tant que je n'aurai pas prouvé par de nouvelles expériences que la loi des proportions définies est l'expression d'une relation mathématique.

Ces considérations m'ont porté à tenter une démonstration rigoureuse de cette loi, quelque difficile, inabordable même que m'ait paru d'abord le problème. Telle qu'elle est généralement entendue, elle se compose de deux vérités naturelles distinctes, quoique l'une, à proprement parler, ne soit que la conséquence de l'autre. Ces vérités sont la constance de composition de toute combinaison et l'invariabilité des rapports en poids des éléments formant toutes les combinaisons. Quoique, à mon sens, il ne reste aucun doute sur la constance de composition des combinaisons chimiques, j'ai cherché néanmoins si la composition des corps dits *stables* n'est point fonction, *dans une limite très-étroite*, des conditions dans lesquelles les combinaisons se forment, telles que la *température* et la *pression*. J'ai abordé ensuite le problème de la loi dans toute sa généralité. En y réfléchissant, on s'aperçoit qu'on peut arriver à sa solution par deux moyens différents : par la voie directe, et par la voie indirecte qui résout à la fois la question de la loi des proportions définies et celle de l'hypothèse de Prout. J'entends par voie directe celle par laquelle on démontre que le rapport de poids que tous les corps observent en s'unissant entre eux, un à un, un à deux, etc., reste invariable.

Dans le premier Mémoire ci-joint intitulé : *Recherches nouvelles sur les lois des proportions chimiques*, sont consignées les expériences que j'ai tentées pour résoudre ces problèmes importants. Ce Mémoire se compose de deux parties : la première a pour titre : *De la constance de composition des combinaisons dites stables*. Dans le but de résoudre la question de savoir si, lors de la formation des corps composés, la pression ou la température exer-

cent une influence sur les rapports qu'observent entre eux les éléments qui les constituent, j'ai repris la détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure d'ammonium, qui a déjà fait de ma part l'objet de si longues investigations. J'ai choisi ce moyen, parce qu'il permet de faire intervenir comme condition de formation tantôt la température, tantôt la pression, et ensuite parce que l'opération peut être exécutée avec une précision qui touche à l'exactitude mathématique.

Les résultats auxquels je suis arrivé prouvent que, dans la limite dans laquelle j'ai dû me renfermer pour rendre l'expérience possible, *la température n'exerce aucune influence sur la composition du chlorure d'ammonium et sur la composition du chlorure d'argent; ils démontrent que la pression est sans influence aucune sur la composition du chlorure d'ammonium.* En effet, le rapport proportionnel entre le chlorure d'ammonium et l'argent est représenté par une *constante*, quel que soit le mode de formation du chlorure ammonique ou du chlorure argentique.

La deuxième partie de ce Mémoire est intitulée : *De l'invariabilité des rapports en poids des éléments formant les combinaisons chimiques.* Pour résoudre ce problème, j'ai recherché si, dans les corps binaires et dans les corps ternaires, ayant chacun *deux éléments communs*, les éléments communs existent invariablement dans les mêmes rapports en poids; autrement dit, si dans deux corps AB et ABC, les rapports en poids de A à B sont exactement les mêmes dans AB que dans ABC. Dans cette intention, j'ai institué trois séries de recherches; les résultats auxquels elles m'ont conduit sont consignés dans trois notices intitulées : 1° *Recherches sur la transformation de l'iodate d'argent en iodure, sous l'influence de l'acide sulfureux, faites dans le but de constater si le rapport en poids de l'iode à l'argent est le même dans ces deux corps;* 2° *Recherches sur la transformation du bromate d'argent en bromure, sous l'influence de l'acide sulfureux, faites dans le but de constater si le rapport du brome à l'argent est le même dans les deux corps;* 3° *Recherches sur la transformation du chlorate d'argent en chlorure, sous l'influence de l'acide sulfureux, faites dans le but de constater si le rapport en poids du chlore à l'argent est le même dans ces deux corps.* Il résulte de ces trois séries de travaux que, sous l'influence de l'acide sulfureux, l'iodate, le bromate, le chlo-

rate d'argent *produits dans les conditions normales de leur formation*, peuvent être ramenés à l'état d'iodure, de bromure, de chlorure, *sans qu'une fraction, quelque minime qu'elle soit, d'iode, de brome, de chlore ou d'argent devienne libre.* L'invariabilité des rapports en poids des éléments qui constituent ces composés est donc démontrée.

De la combinaison des deux ordres de faits que je viens d'essayer de prouver découle nécessairement que les corps s'unissent dans des rapports absolument fixes et invariables, que ces rapports sont de véritables *constantes*, et que les lois des proportions chimiques qui ont servi de base expérimentale à l'*hypothèse atomique*, sont des lois mathématiques, comme les chimistes l'ont admis depuis bientôt un demi-siècle. La conséquence légitime que je puis en déduire est donc que les composés produits dans les *conditions normales de leur formation*, doivent NÉCESSAIREMENT renfermer leurs éléments *simples* dans les proportions rigoureuses de ces *constantes*. Ces recherches, qui ont été d'une exécution très-laborieuse et très-délicate, m'autorisent à dire : le doute soulevé par M. Marignac au sujet de la synthèse de l'azotate et du sulfure d'argent n'est point fondé en principe, et les objections que le célèbre chimiste génevois en a déduites ne sont pas plus fondées que le doute lui-même.

J'ai dit plus haut qu'on peut essayer une démonstration de la loi des proportions définies par une voie indirecte. J'entends, par voie indirecte, le moyen qui consiste à rechercher si le poids atomique d'un même corps reste invariable lorsqu'il est déterminé, non-seulement à l'aide de méthodes indépendantes, mais à l'aide de corps différents. En effet, les poids atomiques fixés dans ces conditions ne peuvent être identiques, qu'autant qu'il y ait invariabilité dans le rapport en poids des éléments des combinaisons, c'est-à-dire qu'autant que la loi des proportions chimiques ne soit pas une loi limite. Quoiqu'on puisse prouver *a priori* que la voie indirecte ne peut conduire à une démonstration rigoureuse, je l'ai tentée néanmoins, parce qu'elle renferme en elle-même la solution de l'hypothèse de Prout, qui a été le but de mon travail.

Afin de rendre la preuve aussi rigoureuse que les conditions le permettent, j'ai cru indispensable de changer radicalement le *système de synthèse et*

d'analyse employé par tous les chimistes. Jusqu'à ce moment les synthèses, comme les analyses, ont été faites par *différence*. Cette méthode pour la synthèse présuppose que le poids de l'élément employé se trouve *intégralement* dans le composé dans lequel on l'engage, et de plus que le composé produit et qu'on pèse ne renferme absolument que le corps simple ou complexe que l'on a combiné au premier. De même, pour l'analyse, elle présuppose que la différence représente absolument le poids de l'autre élément simple ou complexe combiné. Dans ce système, l'opération d'analyse ou de synthèse ne renferme point en elle-même le moyen de bien préciser l'erreur qu'elle comporte. Elle ne permet de se faire une idée de l'exactitude du résultat que par la *répétition* faite un grand nombre de fois de la même opération; encore, dans ce cas, est-il *impossible de faire la part de l'erreur constante*. La méthode par différence présente également l'inconvénient de ne pas fournir, par l'opération même, une idée de la pureté de la matière ou des matières mises en expérience. Pour tous ces motifs, j'ai pensé que dans les synthèses et les analyses qui ont pour but la détermination des poids atomiques, il faut employer une méthode dans laquelle on fixe, par l'expérience même, outre le poids de chaque élément séparé, le poids des éléments réunis. Ainsi, pour une synthèse de deux corps A et B, il faut qu'on détermine le poids de A, le poids de B, et qu'après leur union on pèse AB produit; et de la même manière, dans l'analyse d'un composé ABC, lorsqu'on veut connaître le rapport de AB à C, on doit déterminer séparément le poids de ABC, le poids de AB et le poids de C qui en dérivent. Ce n'est qu'en tant qu'on réalise ces conditions, qu'on peut mesurer exactement la limite d'erreur que comportent toutes les opérations.

J'ai appliqué rigoureusement ce système à la synthèse de l'iodure et du bromure d'argent et à l'analyse de l'iodate de ce métal; pour des motifs que j'indique dans mon travail, j'ai échoué dans l'application complète que j'ai essayé d'en faire à l'analyse du bromate et du chlorate d'argent. On conçoit du reste que ce ne sera que très-exceptionnellement qu'on pourra réaliser ces principes dans toute leur rigueur à la synthèse et à l'analyse des corps. Les résultats auxquels je suis arrivé sont consignés dans le deuxième Mémoire intitulé : *Recherches nouvelles sur les poids atomiques de l'argent, de l'iode,*

du brome et du chlore, faites dans le but de constater si le poids atomique de l'argent, déterminé à l'aide de ces trois corps, est le même et si ces poids atomiques sont conformes à l'hypothèse de Prout. Ce Mémoire se compose des neuf notices suivantes :

1° *Des systèmes employés pour faire des synthèses et des analyses;*
2° *Synthèses par différence de l'iodure d'argent;*
3° *Synthèses par somme et synthèses complètes de l'iodure d'argent;*
4° *Synthèse par différence du bromure d'argent;*
5° *Synthèses par somme et synthèses complètes du bromure d'argent;*
6° *Analyses complètes de l'iodate d'argent;*
7° *Analyse par différence de l'iodate d'argent;*
8° *Analyses par différence du bromate d'argent;*
9° *Analyses par différence du chlorate d'argent.*

Les conséquences qui découlent de ces longs et pénibles travaux sont que la composition de l'iodure, du bromure et du chlorate d'argent déterminée, il y a vingt années déjà, par M. Marignac, est rigoureusement exacte; que la composition de l'iodure d'argent est absolument inconciliable avec l'hypothèse de Prout; que la composition de l'iodate, du bromate et du chlorate ne se concilie pas davantage avec cette hypothèse; que le poids atomique de l'argent, déduit de ces *trois données indépendantes entre elles*, est presque absolument le même, et se confond avec le poids atomique déduit de la synthèse du chlorure et de l'analyse du chlorate, faites par M. Marignac, de la synthèse du sulfure et de l'analyse du sulfate exécutées par moi.

En effet, le poids atomique de l'argent est en *moyenne :*

1°	D'après les synthèses du chlorure et les analyses du chlorate faites par M. Marignac	107,915
2°	D'après mes synthèses du sulfure et mes analyses du sulfate. . .	107,920
3°	— — de l'iodure et mes analyses de l'iodate. . .	107,928
4°	— — du bromure et mes analyses du bromate. .	107,921
5°	— — du chlorure et mes analyses du chlorate. .	107,957

Si le doute que M. Marignac a soulevé au sujet des synthèses du sulfure et de l'azotate d'argent n'avait reçu de solution satisfaisante par les essais directs auxquels j'ai soumis la loi des proportions chimiques, la concordance que

présente le poids atomique de l'argent déterminé à l'aide de *quatre données absolument indépendantes entre elles*, suffirait, me semble-t-il, pour le dissiper à jamais.

Enfin j'avais à cœur de soumettre les autres résultats, consignés dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, à une nouvelle vérification, en me servant de méthodes différentes et indépendantes, surtout après avoir été accusé de tourner le dos à la vérité et au progrès [1]. Parmi les corps qui ont fait l'objet de mes investigations, l'azote est celui dont le poids atomique s'écarte le plus de la loi de Prout, en considérant, bien entendu, la valeur relativement faible de son poids. D'après cette hypothèse, son poids atomique est représenté par 14,00. Or, j'ai trouvé qu'il est égal à 14,06 en le déduisant du chlorure d'ammonium, supposant, bien entendu, par hypothèse toute gratuite, que le rapport de l'hydrogène à l'oxygène est comme 1 : 16,00 ; et j'ai trouvé qu'il est au maximum 14,046 et en moyenne 14,041 en le déduisant de la synthèse de l'azotate d'argent. J'aurais désiré soumettre ces résultats à un contrôle direct par l'analyse de l'oxyde azoteux exécutée d'après le système exposé plus haut, c'est-à-dire en pesant le composé et chacun de ses éléments isolés. Malheureusement jusqu'ici je n'ai trouvé aucun mécanicien qui ait osé entreprendre la construction de l'appareil dans les conditions que je crois indispensables pour la réussite de l'expérience.

Ce moyen me faisant défaut, j'ai eu recours à une voie indirecte qui fournit des résultats extraordinairement concordants et certains, lorsqu'on se donne la peine de l'appliquer à des composés dans lesquels entrent des éléments variables à côté d'éléments constants. J'ai cru trouver ce moyen dans la *transformation des chlorures en azotates*. Cette méthode a d'ailleurs été pratiquée par M. Penny, de Glasgow. Les chlorures sur lesquels j'ai opéré sont ceux de potassium, de sodium et de lithium. J'ai refait également de *nouvelles synthèses* de l'azotate d'argent, afin de pouvoir contrôler mes anciennes expériences, et déduire avec certitude le poids atomique de l'azote du rapport des poids de chlorure et d'azotate produits par une unité de poids d'argent. Pour le lithium, j'ai vérifié à l'aide de recherches nouvelles son poids atomique, déter-

[1] *Cosmos*, 1860, t. XVII, p. 656.

miné il y a trois années par M. Carl Diehl, et confirmé plus tard par les travaux de M. Troost.

On conçoit en effet que par la transformation d'un chlorure en azotate, ou par la détermination du rapport des poids de chlorure et d'azotate obtenu à l'aide d'une unité de poids de métal, on doit pouvoir vérifier l'exactitude d'un poids atomique donné de l'azote, si le poids atomique des éléments composant le chlorure est suffisamment déterminé.

D'après la loi des proportions chimiques, et d'après la composition des azotates, la différence entre le poids d'une molécule d'un chlorure et celui d'une molécule de l'azotate correspondant doit être égale à une *constante* représentée par la différence existant entre le poids atomique du chlore et la somme des poids d'un atome d'azote et de trois atomes d'oxygène. En prenant, conformément à l'hypothèse de Prout, le chlore = 35,50, l'azote = 14,00 et l'oxygène = 16,00, la constante doit être égale à 26,50.

Dans le troisième Mémoire intitulé : *Recherches faites dans le but de déterminer et de contrôler les poids atomiques de l'azote, du brome, du chlore, de l'argent, du lithium, du potassium et du sodium*, sont consignés tous les travaux auxquels je me suis livré pour résoudre ces différentes questions. Ce Mémoire se compose de quinze notices; il est sans intérêt de les citer toutes ici. Les principales sont intitulées : 5° *Du chlorure de potassium employé dans les déterminations, et détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de potassium;* 7° *du chlorure de sodium employé dans les déterminations, et détermination du rapport proportionnel entre ce chlorure et l'azotate de sodium;* 9° *du chlorure de lithium employé dans les déterminations;* 11° *du moyen employé pour la détermination du rapport proportionnel entre le chlorure de lithium et l'argent;* 13° *du moyen employé pour la détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de lithium;* 14° *nouvelles synthèses de l'azotate d'argent.*

Les résultats remarquablement concordants auxquels me conduisent les travaux exposés dans ces notices démontrent que, prenant le potassium = 39,00, ou 39,125 ou 39,250, le sodium = 23,00, le lithium = 7,00, l'argent = 108,00, la différence entre le poids d'une molécule de chlorure d'un de ces métaux et l'azotate qui lui correspond n'est pas une *constante*,

comme elle doit l'être d'après la loi des proportions chimiques, et de plus qu'elle n'est pas égale à 26,50.

En effet, pour le potassium, suivant qu'on prend K = à 39,000, ou 39,125, ou 39,250, cette différence est comprise entre	26,555 et 26,640
Pour le sodium, cette différence est de	26,591
Pour le lithium, cette différence est de	26,605
Pour l'argent, cette différence est de	26,607
Au lieu de	26,500

Ces travaux établissent au contraire que la différence devient une *constante* du moment que, pour calculer les résultats, on prend pour poids atomiques non les chiffres de l'hypothèse, mais *ceux déduits directement de l'expérience*. Dans ce cas, le chlore étant 35,457,

et K =	39,150,	la différence est égale à	26,586
et *Na* =	23,045,	— est égale à	26,591
et *Li* =	7,022,	— est égale à	26,589
et *Ag* =	107,930,	— est égale à	26,587
Cette constante est donc égale en moyenne à			26,588

Il y a donc une différence de $\frac{1}{265}$ sur le poids total de la constante, ou de près d'un *dixième* d'atome d'hydrogène, qui sert d'unité, entre le calcul et le résultat des expériences concordantes, dans lesquelles néanmoins sont intervenus *quatre* métaux distincts, dont trois sont les mieux connus parmi tous les éléments existants. Cette différence constitue une erreur *seize* fois plus grande que l'écart moyen que j'ai observé dans mes expériences sur le chlorure de potassium; elle est *douze* fois plus grande que l'écart moyen constaté dans les expériences sur le chlorure de sodium, dont une détermination a été faite en collaboration avec M. Kekulé; elle représente une erreur *quarante* fois plus grande que l'écart moyen qu'offrent entre elles mes déterminations du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de lithium; enfin, cette différence constitue une erreur *quarante* fois plus grande que l'écart moyen qu'offrent entre elles mes nouvelles synthèses de l'azotate d'argent.

La grandeur de la différence entre le calcul d'après l'hypothèse de Prout et l'expérience provient de ce que, dans cette méthode de contrôle, l'écart

trouvé entre les poids atomiques du chlore et de l'azote calculés d'après l'hypothèse, et les poids atomiques déduits des déterminations expérimentales, et qui est *en sens opposé*, vient s'ajouter, au lieu de se retrancher, comme c'est souvent le cas pour d'autres moyens d'investigation. De relativement faible qu'est la différence pour chacun de ces deux corps, additionnée elle devient tellement forte qu'il est absolument impossible de l'attribuer à une erreur constante de l'observation. La somme de l'écart moyen qui existe, pour le chlore et l'azote, entre les chiffres de l'hypothèse et ceux qui dérivent des expériences consignées dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques* est de 0,084 à 0,086, ou à peu près un dixième d'atome d'hydrogène, somme qui, dans la limite d'exactitude de l'expérience, est égale à l'excédant observé dans la transformation des chlorures en azotates. C'est même, je l'avoue, ce motif qui m'a déterminé à entreprendre ces *quatre séries* de recherches dans lesquelles, je le savais d'avance, j'allais me heurter à des difficultés de toute nature tellement considérables, qu'à plusieurs reprises j'ai été sur le point de devoir les abandonner. Je m'explique du reste tout au long à ce sujet dans l'exposé de ces recherches.

Le poids atomique de l'azote qui dérive de ces travaux est, d'après le rapport de poids :

Du chlorure de potassium à l'azotate.	= 14,043
Du chlorure de sodium à l'azotate.	= 14,048
Du chlorure de lithium à l'azotate	= 14,046
Du chlorure d'argent à l'azotate	= 14,044
Moyenne. . . .	14,045

Il y a donc un écart moyen qui ne dépasse pas $\frac{1}{4000}$ de la valeur.

Mes *nouvelles* synthèses de l'azotate d'argent conduisent à. . . .	14,042
Mes *anciennes* synthèses, consignées dans mes recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques ont donné, en moyenne. .	14,041
Moyenne générale. . . .	14,044

Ces travaux confirment donc complétement la conclusion que j'ai tirée de la synthèse de l'azotate d'argent; ils établissent à suffisance de preuve que le

poids atomique de l'azote n'est point représenté par 14,00, l'oxygène étant 16,00, et que l'*hypothèse sur laquelle on a basé ce nombre n'est point fondée en expérience.*

Ces travaux prouvent également que :

1° Le poids atomique du potassium est compris entre . .	39,130	et 39,135
2° Le poids atomique du sodium est compris entre . . .	23,042	et 23,045
3° Le poids atomique du lithium est compris entre . . .	7,020	et 7,024
4° Le poids atomique de l'argent est compris entre . . .	107,925	et 107,950
5° Le poids atomique du chlore est compris entre . . .	35,455	et 35,460

Avant la publication de mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, j'avais déterminé un grand nombre de fois le rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent. Les travaux que j'ai exécutés pour obtenir le brome pur destiné à la synthèse du bromure d'argent, et ceux que j'ai entrepris pour constater la pureté du brome produit, m'ont forcément amené à me procurer des quantités très-considérables de bromate et de bromure de potassium. J'ai profité de cette circonstance pour contrôler les poids atomiques du potassium et du brome. L'ensemble des recherches que j'ai faites à ce sujet est consigné dans la notice qui termine le troisième Mémoire et qui est intitulée : 15° *Détermination du rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent.*

Des relations constatées entre le brome, le potassium et l'argent, il résulte que, l'argent étant	107,93
Le poids atomique du potassium est compris entre	39,130 et 39,144
Le poids atomique du brome est compris entre	79,945 et 79,965

Les recherches faites par M. Marignac, en 1843, conduisent exactement aux mêmes rapports de nombres.

Telle est l'indication sommaire des nouvelles recherches que j'ai entreprises ou complétées dans ces cinq dernières années, pour m'assurer par l'expérience s'il existe oui ou non un rapport simple entre les poids des corps qui s'unissent pour former les combinaisons chimiques.

Dans le but de satisfaire au désir exprimé par la plupart des chimistes qui ont eu l'occasion d'examiner mes moyens d'investigation, j'ai joint à

chacun de ces Mémoires des figures destinées à l'intelligence des opérations et des appareils qui y sont décrits. J'ai exposé également mes recherches avec un développement qui, j'espère, sera trouvé suffisant. Je ne me dissimule point que la rédaction de ces Mémoires laisse beaucoup à désirer au point de vue de l'unité; j'avoue même qu'elle pourrait être singulièrement simplifiée. Les défauts qu'ils présentent proviennent de ce qu'ils ont été écrits à des époques très-différentes, en ayant seulement en vue les faits qui sont relatés dans chacun d'eux, sans me préoccuper de ce qui précède ou de ce qui peut suivre; mais toute réflexion faite, j'ai pensé que dans leur révision je devais respecter ces imperfections, parce qu'elles expriment rigoureusement les faits observés et les conclusions qui découlent isolément de chacun d'eux.

Pour terminer, je dois me résumer et conclure : j'ai cherché si la loi des proportions chimiques est une loi limite ou une loi absolument exacte; je pense avoir prouvé qu'elle est l'expression d'une relation mathématique. Je crois avoir également démontré que le poids atomique d'un même corps, déterminé à l'aide de différents éléments et de méthodes indépendantes entre elles, poids atomique qui doit être identique, l'est effectivement dans la limite d'exactitude à laquelle il est possible d'atteindre par nos moyens actuels d'investigation.

Les valeurs des poids atomiques qui découlent de toutes ces recherches sont les suivantes :

L'oxygène étant pris par HYPOTHÈSE.	. . . . .	= 16,000
L'argent	est	107,930
L'azote	id.	14,044
Le brome	id.	79,952
Le chlore	id.	35,457
L'iode	id.	126,850
Le lithium	id.	7,022
Le potassium	id.	39,137
Le sodium	id.	23,043

Ces poids atomiques sont nécessairement des *moyennes;* mais comme les valeurs résultent de déterminations qui ont subi, pour la plupart, des contrôles

nombreux, obtenus à l'aide de méthodes indépendantes entre elles, je pense qu'on peut considérer comme certaine la première décimale, et comme très-probable la deuxième décimale de presque tous, sinon de tous ces poids atomiques.

Lorsqu'on veut se renfermer dans une *unité* dont l'expérience peut répondre, on constate aisément qu'il n'existe point de rapport simple entre ces différents poids atomiques. J'ai dit expressément que toutes ces valeurs sont déterminées en fonction de l'oxygène pris *hypothétiquement* égal à 16. Si on les rapporte à l'hydrogène pris pour *unité*, on doit nécessairement les corriger, du fait de la différence qui existe entre le poids atomique de l'oxygène déduit de l'expérience et le poids atomique admis par hypothèse. Or, le rapport de l'hydrogène à l'oxygène n'est pas connu avec certitude. De l'ensemble de tous les travaux exécutés sur la composition de l'eau, sur la pesanteur spécifique de l'hydrogène et de l'oxygène, sur le rapport proportionnel entre le chlorure d'ammonium et l'argent, je suis *porté à croire* que l'hydrogène étant 1, le poids atomique de l'oxygène ne peut guère dépasser 15,96. Si je réduis proportionnellement toutes les valeurs inscrites ci-dessus de la différence existant entre 15,96 et 16,00, c'est-à-dire de $\frac{1}{400}$, j'arrive aux résultats suivants :

L'hydrogène	étant.	1.
L'oxygène	est.	15,960
L'argent	id.	107,660
L'azote	id.	14,009
Le brome	id.	79,750
Le chlore.	id.	35,368
L'iode	id.	126,535
Le lithium	id.	7,004
Le potassium	id.	39,040
Le sodium	id.	22,980

Dans ce cas, les poids atomiques de l'azote et du lithium sont sensiblement représentés par des nombres entiers; mais les poids atomiques de l'oxygène, de l'argent, du chlore, de l'iode, du potassium s'éloignent tellement des nombres entiers ou de fractions simples, qu'il me semble difficile, sinon impossible, d'y découvrir une relation simple.

De tout ce qui précède il résulte que je n'ai rien à changer aux conclusions par lesquelles j'ai terminé mes *recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*. La simplicité de rapport de poids que présuppose l'hypothèse de Prout entre les masses qui interviennent dans l'action chimique, ne s'observe donc point dans l'expérience; *elle n'existe point dans la réalité des choses*. En effet, *ces rapports tels qu'ils se présentent à nous, sont incommensurables*. Du reste M. Dumas, sur les travaux duquel se fondent les partisans de l'hypothèse de Prout, admet aujourd'hui que les chiffres déduits de l'expérience offrent avec ceux que présuppose l'hypothèse du chimiste anglais, un écart plus considérable que celui qu'on peut légitimement attribuer à l'erreur inévitable de l'observation. Cependant, convaincu qu'il est que cette hypothèse est l'expression d'une *vérité philosophique*, il considère la loi de Prout comme une loi limite à l'égal des lois de Mariotte et de Gay-Lussac. Réduite à ces termes, l'hypothèse du chimiste anglais échappe aux investigations de ceux qui croient devoir se baser uniquement sur l'expérience pour rechercher et établir les lois qui régissent la matière; elle rentre dans le domaine de la spéculation pure, qui n'a et ne peut avoir rien de commun avec les procédés, les exigences et les principes des sciences exactes.

Encore un mot et j'ai fini. La loi de Prout n'étant pas vérifiée par l'expérience, est-il conforme aux vrais principes de la science d'inscrire, dans les ouvrages, des poids atomiques représentés par *des nombres entiers ou suivis de fractions simples*, en prenant l'hydrogène pour unité, comme le font aujourd'hui grand nombre de chimistes? Dans l'usage *ordinaire*, peut-on, sans inconvénient, se servir de nombres entiers ou suivis de fractions simples? La plupart des poids atomiques déterminés avec soin se rapprochent tellement des chiffres calculés, qu'il a fallu recourir à tous les artifices, à tous les raffinements de l'analyse pour démontrer qu'ils ne sont pas absolument exacts; il est évident d'après cela que, dans les calculs ordinaires, on peut s'en servir, certain que l'on est que l'erreur commise ainsi sera toujours aussi petite au moins que celle qui résulte, dans la majeure partie des cas, de l'opération que l'on se propose de vérifier par le calcul. Du reste, il va de soi que, dans les calculs, l'emploi de poids atomiques plus ou moins rapprochés de la vérité est corrélatif du degré d'exactitude auquel on veut atteindre. Il doit en

être de l'usage des poids atomiques comme des pesées et des mesures elles-mêmes ; quoiqu'il faille des poids et des mètres étalons, il n'y a aucune utilité et surtout aucune nécessité de s'en servir pour les pesées ou les mesures qui n'exigent pas ou ne comportent pas le degré d'exactitude que présuppose l'emploi d'*étalons*. Si je suis d'accord sur ce point avec la plupart des chimistes, je ne le suis plus en ce qui concerne l'inscription dans des ouvrages de poids atomiques *calculés* ou *approximatifs* en remplacement de poids atomiques *déterminés* par l'expérience. Lorsqu'on a pour but d'instruire ou d'exposer ce qui est dans la réalité des phénomènes de la nature, il n'est pas plus permis de substituer l'erreur à la vérité qu'il n'est possible de transiger avec un principe qu'on sait ne pas être vrai.

PREMIER MÉMOIRE.

RECHERCHES NOUVELLES SUR LES LOIS DES PROPORTIONS CHIMIQUES.

PREMIÈRE PARTIE.

DE LA CONSTANCE DE COMPOSITION DES COMBINAISONS DITES STABLES.

PRÉLIMINAIRES.

Des composés, qui généralement ont été considérés comme stables, ont été reconnus, dans ces derniers temps, comme essentiellement instables. M. Marignac a constaté dès 1853 que la composition de l'acide sulfurique normal n'est définie qu'à la limite. M. Roscoe a trouvé depuis que la composition d'un grand nombre d'acides aqueux est fonction de la pression que la vapeur de ces acides supporte lorsqu'on les soumet à la distillation. J'ai constaté de mon côté que le chlorure d'ammonium, suivant les circonstances dans lesquelles on le produit, peut condenser soit de l'acide chlorhydrique, soit de l'ammoniaque; mais j'ai attribué ce fait à une cause physique, étrangère par conséquent à l'action chimique qui détermine la formation du chlorure d'ammonium. M. Marignac s'est basé sur le fait qu'il a observé lui-même, pour se demander si le sulfure et l'azotate d'argent dont j'ai donné de nouvelles synthèses ne renferment pas, l'un un excès de soufre, l'autre un excès d'acide

azotique. Le sulfure et l'azotate d'argent étant des corps essentiellement stables, ils peuvent être soumis à des causes capables d'en éliminer le soufre et l'acide azotique qui y seraient accidentellement retenus. En examinant les détails contenus dans mon travail, quelque insuffisants qu'ils paraissent aux yeux de certains chimistes, il est facile de se convaincre que j'ai fait tous les efforts imaginables pour me mettre à l'abri de cette cause d'erreur; et cependant les résultats ne s'accordent point avec la composition que ces corps devraient présenter d'après les poids atomiques de leurs éléments déduits de l'hypothèse de Prout. « Il se peut » dit M. Marignac « que la composition de ces corps n'est définie qu'à la limite, ou même qu'ils ne renferment point leurs éléments dans les rapports rigoureux de leurs poids atomiques. » Ce doute atteint à la fois le fait généralement admis de la constance de composition des combinaisons stables, et l'invariabilité des rapports en poids des éléments formant les combinaisons.

Quoique, parmi les faits bien établis, je n'aie pu en rencontrer *un seul* qui soit de nature à faire partager la manière de voir du célèbre chimiste génevois, je ne m'en suis pas moins cru obligé, ne fût-ce que par déférence pour son opinion, de soumettre cette question à un nouvel examen.

Parmi les conditions qui pourraient concourir à rendre *inconstante* la composition des combinaisons stables, se trouvent *la température* et la *pression*.

Lorsqu'on examine les synthèses du chlorure d'argent, consignées dans mon travail publié en 1860, on voit que ce corps, quoiqu'il ait été produit dans des circonstances très-différentes, présente une composition que je crois devoir considérer comme constante. Je n'oserais en effet attribuer l'insignifiante différence qu'offrent les résultats à d'autres causes qu'à l'erreur inévitable d'observation. Cependant, dans certains cas, le chlorure d'argent a été produit *au rouge* par la combustion de l'argent dans le chlore, et dans d'autres cas, à la température ordinaire par la précipitation à l'aide de l'acide chlorhydrique, de l'argent dissous dans de l'acide azotique. L'influence de la chaleur me semble donc ici tout à fait nulle.

Peut-on attribuer une action perturbatrice à l'intervention de la pression? Les faits connus ne me semblent pas non plus justifier cette supposition. En effet, dans mes synthèses de l'azotate d'argent, je me suis assuré que ce sel

fondu dans le vide ne perd rien de son poids, que d'ailleurs il est sans tension appréciable. De plus, je crois avoir démontré que l'azotate de plomb, sel qui certainement est à l'extrême limite des corps qu'on peut considérer comme stables, peut être abandonné dans le vide, pendant toute une journée, à une température différant seulement de 55° de celle à laquelle il se décompose à la pression ordinaire, sans qu'il perde sensiblement de poids.

Dans le but de résoudre par des recherches nouvelles la question de savoir si, lors de la formation des corps composés, la pression et la température exercent une influence sur les rapports qu'observent entre eux les éléments qui les constituent, j'ai repris la détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure d'ammonium, qui a déjà fait de ma part l'objet de si longues investigations. J'ai choisi ce moyen pour deux motifs : d'abord, parce qu'il permet de faire intervenir comme condition de formation tantôt la température, tantôt la pression, et ensuite parce que l'opération peut être exécutée avec une précision qui touche à l'exactitude mathématique.

Le rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure d'ammonium, constaté par l'expérience, dépend à la fois de la pureté de l'argent, de la composition du chlorure de ce métal et du chlorure d'ammonium, et la composition de ce dernier dépend de sa pureté. Or, la détermination peut être faite à la température ordinaire ou à 100°; on peut donc s'assurer avec une grande exactitude si, entre ces limites de température, la composition du chlorure d'argent peut éprouver quelque changement.

On peut produire, d'un autre côté, le chlorure d'ammonium à la température ordinaire, ou à une température élevée; dans ce dernier cas, on peut le volatiliser à la pression ordinaire, ou dans le vide.

Enfin, l'ammoniaque destiné à la production du chlorure peut être emprunté à des sources différentes, ce qui permet de contrôler les résultats les uns par les autres.

Les recherches que j'ai déjà fait connaître ont prouvé que 100,000 d'argent équivalent en moyenne à 49,594 de chlorure d'ammonium produit à la température ou sublimé à la pression ordinaire, en déterminant le rapport proportionnel à la température de 10° à 15° centigrades. J'ai recherché quels seraient les résultats en variant les conditions comme je viens de l'indiquer. A

cet effet j'ai produit du chlorure d'ammonium par trois moyens différents, à savoir :

1° Par l'ammoniaque du chlorure d'ammonium du commerce convenablement purifié;

2° Par l'ammoniaque du sulfate d'ammonium purifié;

3° Par l'ammoniaque provenant de la réduction de l'azotite de potassium.

J'ai cherché d'abord si, dans des conditions égales, les résultats sont identiques entre eux pour les différents chlorures, et les mêmes que ceux que j'ai observés autrefois. Afin de permettre à chacun de juger des soins que j'ai mis à faire ces nouvelles déterminations, je vais entrer dans tous les détails nécessaires tant au sujet de la préparation de l'argent pur, que de la préparation du chlorure d'ammonium. Je dirai d'abord les moyens que j'ai employés pour me procurer l'argent pur, et les précautions que j'ai prises pour m'assurer du degré de pureté de ce métal. Quelque fastidieux que soit cet exposé, je m'y crois obligé, parce que ce même métal est intervenu dans la synthèse du bromure, de l'iodure et de l'azotate d'argent, dont j'ai à rendre compte dans les notices consacrées à ces sujets.

I. — *De l'argent.*

J'ai eu recours à deux méthodes distinctes pour me procurer l'argent pur nécessaire aux différents travaux consignés dans ces notices.

Première méthode. — Pour exécuter la première méthode, j'ai fait dissoudre à l'ébullition 3500 grammes d'argent monnayé français dans l'acide azotique très-dilué. L'azotate d'argent produit, après avoir été évaporé jusqu'à siccité et fondu, a été maintenu à son point de fusion tant qu'il s'est dégagé des composés oxydés de l'azote. L'azotate mêlé d'azotite a été dissous, après le refroidissement, dans la plus petite quantité possible d'eau froide, et la solution, après quarante-huit heures de repos, a été filtrée au travers d'un double filtre pour séparer toutes les matières qui auraient pu rester en suspension. La solution limpide, diluée de *trente* fois son volume d'eau de pluie filtrée, a été précipitée par un excès d'acide chlorhydrique pur. Le chlorure d'argent formé a été lavé par décantation après le dépôt, d'abord avec de l'eau acidulée

à l'acide chlorhydrique, et ensuite avec de l'eau pure. Ce lavage a été exécuté en agitant fortement chaque fois le chlorure dans de grands flacons bouchés, avec la quantité de liquide nécessaire.

Recueilli sur une toile lavée à l'acide chlorhydrique, il a été fortement exprimé et abandonné à la dessiccation spontanée. Lorsqu'il a été complétement séché, il a été finement pulvérisé et mis en digestion pendant plusieurs jours avec de l'eau régale. Il a été soumis ensuite à un nouveau lavage à l'eau distillée.

Comme la réduction à chaud du chlorure d'argent par le carbonate de sodium est une opération des plus délicates à conduire, lorsqu'elle se pratique sur de grandes quantités, j'ai procédé à cette réduction, à une basse température, sous l'influence d'une solution de potasse caustique et de sucre de lait, comme Levol l'a proposé le premier.

Pour me procurer la potasse et le sucre de lait sans métaux, j'ai ajouté à une solution concentrée d'hydrate de potassium, qui avait bouilli, une solution de sulfhydrate de potassium en très-léger excès, pour précipiter les traces des métaux dissous. Après le dépôt des sulfures métalliques, j'ai décanté la solution alcaline, et je l'ai mise en contact avec de l'oxyde d'argent récemment précipité, pour la dépouiller du sulfhydrate de potassium. Après une digestion et un repos suffisants, j'ai séparé l'oxyde d'argent en excès et le sulfure d'argent produit.

J'ai éliminé par le même moyen les métaux contenus dans une solution aqueuse saturée de sucre de lait.

Le chlorure d'argent, réparti dans trois grands vases de porcelaine, a été maintenu en digestion à la température de 70° à 80°, avec le mélange de solutions d'hydrate de potassium et de sucre de lait, jusqu'à ce que tout le chlore fût séparé de l'argent. L'argent métallique, qui était gris, a été lavé à l'eau jusqu'à disparition de l'excès d'alcali, puis mis en digestion d'abord avec l'acide sulfurique dilué et pur, et enfin lavé à l'eau ammoniacale. Après sa dessiccation il a été additionné de cinq pour cent de son poids de borate de sodium calciné, contenant dix pour cent de nitrate de sodium, et soumis ainsi, avec les précautions nécessaires, à la fusion dans un creuset de terre, dit *creuset de Paris*.

Le métal fondu a été coulé ensuite dans une lingotière enduite d'une bouillie faite de kaolin calciné et de kaolin non calciné. Les barreaux d'argent, nettoyés d'abord au sable rugueux, ont été rougis ensuite avec de la potasse caustique du tartre. Le kaolin adhérent ayant été dissous, les barreaux sont lavés à l'eau pure.

Ils ont été débités en petits blocs à l'aide d'un ciseau d'acier trempé. Comme le ciseau le plus dur laisse des traces de fer à la surface de l'argent, les petits blocs ont été mis en digestion à chaud avec de l'acide chlorhydrique concentré et pur. L'argent a été lavé à l'eau ammoniacale et enfin à l'eau, et chauffé à son point de fusion avant d'être introduit dans un flacon bouché à l'émeri.

J'ai eu, d'*une seule coulée*, 2875 grammes d'argent d'une blancheur extraordinaire.

Je dirai plus loin comment je me suis assuré de son état de pureté; je veux d'abord exposer le deuxième moyen auquel j'ai eu recours pour me procurer de grandes quantités d'argent pur.

Deuxième méthode. — Cette méthode le fournit facilement et plus promptement que n'importe quel moyen connu; elle a surtout l'avantage de le donner dans un état de pureté rare. Je vais la décrire en détail, convaincu qu'elle pourra servir dans les laboratoires et dans les ateliers de monnaies, pour la préparation du métal d'essai, ou *argent type*.

Elle repose sur la réduction *complète* qu'éprouvent les solutions ammoniacales des composés d'argent par le sulfite cuivreux ammoniacal [1], ou bien par un mélange de sulfite d'ammonium et d'un sel de cuivre ammoniacal quelconque.

A la température ordinaire, cette réduction s'opère lentement avec dépôt d'argent noir, bleu ou gris, suivant la dilution des liquides. Au delà de la température de 60° *la réduction est presque instantanée, et l'argent se précipite dans un état de division en rapport avec la dilution du liquide; sa couleur varie du gris au blanc pur.*

Voici comment j'ai exécuté la préparation de l'argent par cette méthode.

De l'argent monnayé est dissous dans de l'acide azotique dilué et bouil-

[1] Voir note n° 2 à la fin du premier Mémoire.

lant; la solution d'azotate d'argent et de cuivre est évaporée jusqu'à siccité, et la masse saline est amenée en fusion. Cette fusion est nécessaire pour détruire le *nitrate de platine, qui se forme souvent par la dissolution de l'argent monnayé*[1].

Après le refroidissement, les azotates sont repris par de l'eau ammoniacale en excès. La solution ammoniacale est abandonnée *pendant quarante-huit heures* au repos. Le liquide limpide est filtré au travers d'un double filtre de papier, et dilué ensuite d'eau distillée au point de ne plus contenir au delà de *deux pour cent* de son poids d'argent.

Je me suis procuré du sulfite neutre d'ammonium par la saturation de l'ammoniaque à l'aide de l'acide sulfureux. Pour connaître la quantité de sulfite nécessaire à la précipitation complète de l'argent de la solution ammoniacale d'azotate d'argent et de cuivre, j'ai chauffé jusqu'au point d'ébullition un volume déterminé de solution ammoniacale de sulfite d'ammonium, et j'ai cherché le volume de solution d'argent et de cuivre capable d'être décoloré par ce sel. L'expérience m'a démontré, en effet, que tant que le sulfite d'ammonium, *chauffé suffisamment*, ne se colore point en bleu par de l'oxyde cuivrique dissout dans l'ammoniaque, il ne reste aucune trace d'argent en dissolution dans le liquide, parce que dans ce cas tout le cuivre existe à l'état cuivreux, dont la présence est incompatible avec celle d'un composé d'argent quel qu'il soit, dissous dans l'ammoniaque.

La quantité de sulfite d'ammonium indispensable à la précipitation du liquide étant déterminée, je l'ai ajoutée à la solution argentifère, et le mélange ayant été bien fait, a été abandonné pendant quarante-huit heures à lui-même dans une bonbonne de verre fermée, pour exclure le contact de l'air. Au bout de ce temps, le tiers environ de l'argent a été réduit à la température ordinaire, par la réduction du composé cuivrique à l'état de composé cuivreux, et s'était précipité sous la forme d'une pluie d'argent cristallisé, blanc grisâtre, très-brillant.

J'ai exposé ensuite dans un bain d'eau la liqueur bleue décantée, et par une quantité de dix litres à la fois, à une température de 60° à 70°. Le temps

[1] Je me suis assuré à plusieurs reprises que l'argent français contient du fer, du nickel, des traces de cobalt, de platine et d'or.

nécessaire pour déterminer l'élévation de la température a été parfaitement suffisant pour la réduction complète de l'argent existant en solution, et pour la réduction du sulfite cuivrique à l'état de sulfite cuivreux, surtout que j'avais eu soin de prendre un excès suffisant de solution de sulfite d'ammonium [1].

L'élimination de l'argent étant effectuée, j'ai décanté le liquide après le refroidissement, et j'ai procédé séparément au lavage de l'argent précipité à froid et à chaud. Ce lavage a eu lieu par décantation et à l'aide de l'eau ammoniacale; il a été continué tant que les eaux de lavage se sont colorées sensiblement en bleu par leur exposition à l'air, ou qu'elles ont précipité le chlorure de baryum. J'ai abandonné ensuite l'argent pendant plusieurs jours avec de l'ammoniaque concentrée et je l'ai enfin lavé à l'eau pure.

Si la solution dont on a précipité l'argent a été diluée au point de ne pas renfermer au delà de deux pour cent d'argent, l'ammoniaque laissée en contact de ce métal ne se colore point, même après plusieurs jours de digestion: l'ammoniaque ne dissous donc aucune trace de cuivre; en revanche elle *a dissous de l'argent,* parce que ce métal est faiblement attaqué par cette base sous l'influence de l'air, comme il est du reste facile de le constater en évaporant le liquide ammoniacal qui a séjourné pendant plusieurs jours avec de la grenaille ou de la tournure d'argent pur. Ce liquide laisse toujours un miroir noir brillant d'azoture d'argent par son évaporation spontanée.

J'ai préparé à quatre reprises différentes de l'argent par cette méthode, et en dernier lieu j'ai opéré sur 2500 grammes d'argent à la fois. J'ai constaté qu'en se plaçant dans toutes les conditions que je viens de décrire, et *notamment en portant la dilution de la dissolution ammoniacale des azotates d'argent et de cuivre* à deux pour cent d'argent, on obtient de l'argent d'une rare pureté. Lorsqu'il a fallu ramener à l'état de barreaux l'argent précipité, je l'ai fondu avec cinq pour cent de son poids de borate de sodium calciné, contenant dix pour cent de nitrate de sodium, comme je l'ai dit pour l'argent réduit du chlorure par la potasse et le sucre de lait. J'en ai fondu également de très-grandes quantités au chalumeau aérhydrique dans un creuset de

[1] Le liquide, au sein duquel la réaction s'est établie, devient tout à fait incolore si le cuivre ne contient ni nickel ni cobalt. S'il renferme du nickel, il se colore légèrement en vert; il prend au contraire une teinte rosée ou rouge s'il existe du cobalt dans le métal dissous.

porcelaine pure, ou au gaz tonnant dans des creusets de chaux du marbre, par le moyen que je vais exposer.

Des moyens employés pour m'assurer du degré de pureté de l'argent.

Dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, j'ai posé en fait que *l'argent pur se fond et se maintient fondu dans l'air à une température assez élevée pour se volatiliser, sans se couvrir de taches ou de coloration quelconque, et sans donner de vapeur colorée.* Je me suis basé sur ce fait pour aller à la recherche de la pureté de l'argent préparé par la réduction du chlorure à l'aide de la potasse et du sucre de lait, ou par la réduction de l'azotate d'argent ammoniacal à l'aide du sulfite d'ammonium et du sulfite cuivreux ammoniacal. Dans ce but, 400 grammes environ d'argent du chlorure, placés dans un creuset de chaux du marbre blanc contenu lui-même dans un creuset réfractaire, ont été soumis à la flamme *sifflante* produite par la combustion du gaz éclairant dans l'oxygène pur. *L'argent s'est fondu sans se couvrir de la moindre tache.* Je l'ai chauffé ensuite au point de le faire entrer en une *vive* ébullition. L'argent a communiqué d'abord à la flamme le caractère sodique; mais au bout de peu d'instants la couleur jaune a disparu, et tant que l'argent n'a point bouilli, il n'a point apparu de coloration, quoique cependant le métal émît des vapeurs en quantités très-considérables. Dès que l'argent est entré en ébullition, il a produit *une vapeur d'un bleu pâle* [1], laquelle, à plusieurs reprises, a viré légèrement au pourpre [2]. Cette vapeur colorait en jaune foncé la chaux vive, coloration qui disparaissait par l'application de la chaleur. Lorsque, par cette espèce d'affinage, l'argent devait avoir perdu toutes les matières volatiles, et lorsque les matières fixes, mais oxydables, qu'il pouvait contenir, devaient être unies à la chaux, je l'ai laissé tomber d'une assez grande hauteur, et par un petit filet, dans de l'eau distillée où il s'est transformé en grenaille presque sphé-

[1] Quelques chimistes assignent à la vapeur de l'argent une *coloration verte*. La couleur verte observée provenait indubitablement du cuivre contenu dans l'argent soumis à l'expérimentation.

[2] J'attribue la coloration pourpre à l'existence du strontium ou du lithium dans le marbre qui a servi à la préparation du creuset de chaux vive.

rique d'un blanc pur. Le creuset n'a présenté aucun vestige d'oxyde métallique ni de silicate métallique quelconque.

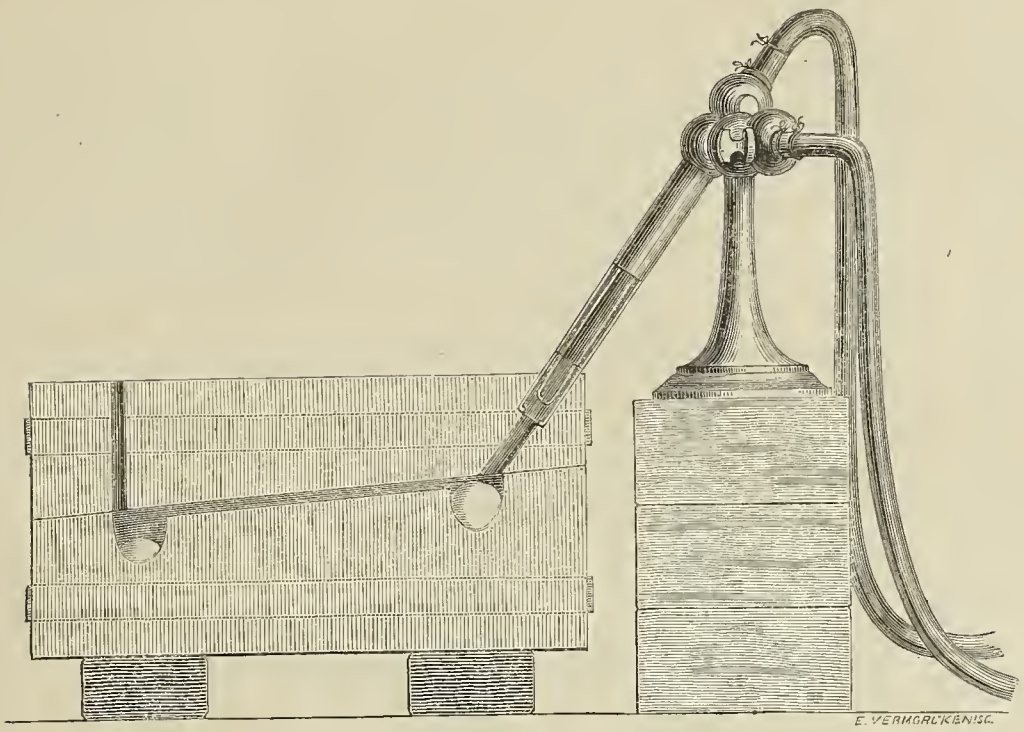
Le même traitement a été appliqué à l'argent pulvérulent préparé par le sulfite ammoniacal cuivreux, et des phénomènes identiques se sont présentés, sauf toutefois l'absence de la coloration jaune intense de la flamme du gaz tonnant, qui s'était produite lorsque l'argent provenant de la réduction du chlorure a été chauffé près de son point d'ébullition.

Avant de soumettre l'argent que je voulais éprouver à l'action de la flamme du gaz tonnant, j'avais eu soin d'exposer préalablement l'intérieur du creuset de chaux du marbre à l'action de la chaleur du même gaz tonnant, pour éliminer de cette chaux, autant que possible, les matières volatilisables, qui impriment une coloration propre à la flamme. J'ai observé à cette occasion qu'indistinctement tous les marbres renferment notablement du *sodium;* que beaucoup contiennent du *strontium* et du *lithium*. A l'aide de la méthode que j'indique plus loin, j'ai procédé à la comparaison des argents affinés avec ceux dont ils sont provenus, et avec l'argent type préparé par l'électrolyse du cyanure d'argent et d'ammonium. Ayant été frappé de la facilité avec laquelle on peut faire bouillir vivement et distiller l'argent dans la flamme du *gaz tonnant,* fait du reste que MM. Henri Sainte-Claire Deville et De Bray [1] avaient déjà remarqué, j'ai voulu en profiter dans le double but de me procurer de l'argent distillé, et de m'assurer en même temps si l'argent affiné, comme je viens de le dire, retient encore quelques traces de matières fixes capables de s'unir à la chaux.

Dans ce but, j'ai fait creuser dans un bloc de chaux cerclé, préparé à l'aide du *marbre blanc,* de vingt-cinq à trente centimètres de longueur sur dix centimètres de largeur et de hauteur, une cavité circulaire de trois centimètres de diamètre et de deux centimètres de profondeur, en communication avec un plan incliné également de trois centimètres de largeur sur un demi-centimètre de profondeur au plus, et servant de condensateur à la vapeur d'argent. Ce plan incliné était terminé par un réservoir faisant office de récipient au métal liquéfié, comme le montre la figure.

[1] *Ann. de chimie et de physique*, t. LVI, p. 415.

Fig. 1.



J'ai placé 50 grammes environ d'argent affiné dans la cavité préalablement rougie au blanc par l'application d'un jet de gaz éclairant brûlant dans un excès convenable d'air comprimé, et j'ai couvert le bloc avec une plaque de chaux du marbre blanc, de cinq centimètres d'épaisseur, percée de deux ouvertures circulaires inclinées, correspondant l'une à la cavité circulaire qui y est pratiquée, l'autre au petit réservoir terminant le plan incliné. Par l'une des ouvertures de la plaque, j'ai fait passer un chalumeau à gaz tonnant de MM. Henri Sainte-Claire Deville et De Bray. Ce chalumeau avait des *bouts très-épais* en platine, pour éviter leur fusion et ensuite l'entraînement du métal. Lorsque l'intérieur de la cavité eut été chauffé au point de l'ébullition de l'argent, il fallut dix à quinze minutes au plus pour faire passer tout l'argent à la distillation. *Les* 50 *grammes se sont volatilisés sans laisser dans la cavité de chaux, servant de cornue de distillation, le moindre résidu appréciable à l'œil armé d'une loupe.*

J'ai versé dans de l'eau distillée l'argent que je suis parvenu à recueillir ainsi dans le récipient. La distillation de l'argent est une opération si facile à

pratiquer, que je l'ai répétée trois fois. Rien ne serait plus aisé que de se procurer un kilogramme d'argent, si l'outillage était approprié à cette masse. Je dois avouer toutefois que, dans les opérations que je viens de décrire, la moitié *au moins* de l'argent employé a été perdu. En effet, il a été entraîné à l'état de vapeur bleu pâle avec le courant de *gaz tonnant*, quoiqu'il fût cependant modéré, et sans excès trop grand d'oxygène; il a été répandu dans l'air ambiant dont il a troublé la transparence, et auquel il a communiqué une saveur métallique très-sensible. Mon outillage d'ailleurs était très-imparfait; de la vapeur d'argent s'échappait en quantité par l'ouverture destinée au dégagement des produits de la combustion, et tout autour entre le bloc et la plaque épaisse qui servait de voûte à celui-ci; leurs surfaces en effet n'étaient pas assez bien dressées pour se superposer très-exactement.

Partout où la vapeur d'argent avait passé, elle a laissé un enduit jaune pâle ou jaune foncé, analogue à celui que laisse la vapeur de la litharge.

Du reste, le plan incliné destiné à la liquéfaction de la vapeur d'argent n'a été convenable ni dans sa forme, ni dans ses dimensions, pour amener la condensation de toute la vapeur métallique entraînée par le courant de *gaz tonnant* plus ou moins comprimé.

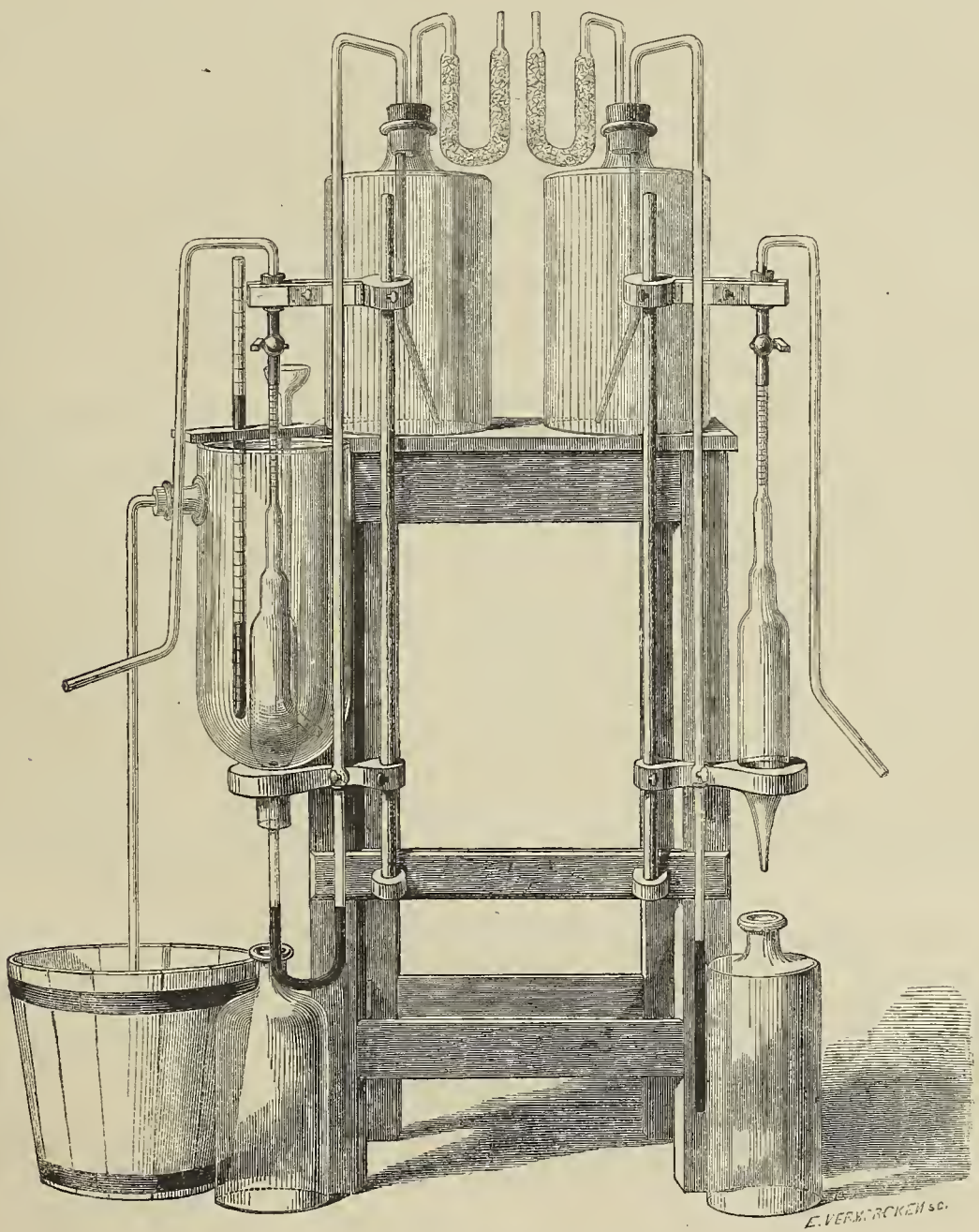
Quoi qu'il en soit de ce détail insignifiant, puisqu'il se résout en une question de dépense négligeable dans des recherches de cette nature, si un chimiste voulait un jour reprendre avec l'argent la série de déterminations des poids atomiques, *c'est à la volatilisation du métal, préalablement affiné, que je l'engagerais à avoir recours pour se procurer l'argent absolument pur.*

Avant de terminer, je dois ajouter que j'ai remarqué que la condensation de la vapeur d'argent se fait d'autant mieux, que le gaz tonnant renferme moins d'oxygène en excès.

Détermination du titre de l'argent de différentes provenances.

La méthode d'essai par la voie humide, pratiquée dans les ateliers des hôtels des monnaies, m'a servi pour la comparaison de l'argent produit et affiné de différentes manières. J'ai eu soin de décupler la quantité de matière soumise à l'essai.

Fig. 2.



Pour exécuter cette méthode dans toutes les conditions possibles d'exactitude, j'ai pris des dispositions particulières que j'ai fait connaître brièvement dans mon précédent travail, et que je vais décrire avec les détails convenables, en accompagnant la description de figures, pour me conformer au désir qui m'en a été exprimé par plusieurs chimistes qui ont examiné l'appareil.

Le système destiné à l'essai se compose de trois parties distinctes : un réservoir, contenant une solution titrée de chlorure de sodium; un mesureur; un appareil où se fait la *titration*.

Le volume du réservoir a été déterminé à l'aide de la pesée du flacon plein d'air sec et plein d'eau. Ce volume, à 10°, est $6328^{cc}35$ [1].

Le mesureur se compose d'une grande pipette, surmontée d'un long tube presque capillaire, subdivisé en soixante-dix capacités égales; il est muni, par le bas, d'un tube effilé, dont l'ouverture présente $0^{m},0015$ de diamètre.

La capacité du mesureur, rempli jusqu'au 0°, a été fixée par la perte de poids qu'il éprouve par l'écoulement de l'eau. Cette capacité a été trouvée de $504^{cc},922$, à 10° centésimaux [2].

Le mesureur est fixé à demeure dans un manchon de verre rempli d'eau maintenue à une température constante; il se remplit par le bas à l'aide du liquide du réservoir, conduit par un siphon muni d'un robinet de verre et terminé par un tuyau en caoutchouc, qui vient s'adapter à la partie effilée du tube de la pipette. Le mesureur est pourvu, à sa partie supérieure, d'un robinet, dont on ouvre la clef lorsqu'on veut le remplir de liquide jusqu'à 0°, et qu'on tient fermé pendant tout le temps qu'on veut laisser séjourner le liquide salin dans le vase pour lui faire prendre la température du bain d'eau qui l'entoure [3]. Du reste, afin de me mettre à l'abri des variations de température du liquide, j'ai attendu, pour faire les déterminations, que la

[1] Voir aux notes pour les éléments qui ont servi à la détermination de ce volume. Note n° 3.

[2] Voir aux notes pour les éléments qui ont servi à la détermination de la capacité totale du mesureur, et de la capacité de la tige subdivisée en soixante-dix parties égales. Note n° 4.

[3] Grâce au système de distribution d'eau de la ville de Bruxelles, rien ne m'est plus facile que d'avoir, pendant huit à dix jours consécutifs, un courant d'eau à *température constante*. La plus grande différence qu'il y ait dans toute l'année, dans la température de l'eau, n'atteint même pas 4° centésimaux. Pendant plus de deux mois, cette température est de 10° centésimaux très-exactement.

température de l'air de la chambre obscure et de l'eau fût sensiblement la même [1].

Pour préparer la solution saline titrée, j'ai introduit dans le réservoir $33^{gr},9653$ de sel marin pur. Ce poids représente $5^{gr},420$ de chlorure pur par $1009^{cc},844$, volume double de la capacité du mesureur à 10° centésimaux. D'après mes expériences antérieures, $5^{gr},42078$ de sel marin pur doivent précipiter exactement $10^{gr},000$ d'argent de l'électrolyse de cyanure d'argent et d'ammonium. Il me restait donc une latitude de près de $0^{gr},001$ pour faire l'essai, quantité plus que suffisante, eu égard à la rare perfection de la méthode de Gay-Lussac, lorsqu'elle est convenablement appliquée.

La pesée d'une quantité déterminée *a priori* de chlorure de sodium est une opération excessivement délicate, impossible même à exécuter avec exactitude si l'on n'a pas recours à un artifice. Voici celui que j'ai employé et auquel, du reste, j'ai eu toujours recours dans des circonstances analogues. Après avoir calculé le poids dans l'air [2] de $33^{gr},9653$ de chlorure de sodium supposé pesé dans le vide, poids qui est égal à $33^{gr},9475$; j'ai pesé, dans un creuset de platine, cette quantité concassée en petits fragments, et j'ai ensuite soumis le creuset, renfermé dans un second, à une température rouge sombre. Pendant que le sel marin était encore très-chaud, je l'ai introduit, à l'aide d'une main de platine, dans un tube bouché à l'éméril, également chauffé, et dont le poids était déterminé. Le refroidissement du tube étant complet, j'ai constaté son poids et j'ai suppléé les quelques milligrammes manquants, en pesant à la *balance d'essai*, et aussi rapidement que possible, la quantité de chlorure nécessaire pour parfaire le poids total du chlorure calculé.

Dans la notice [3] intitulée : *Du chlorure de sodium employé dans les déterminations, et détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et*

[1] La figure représente le réservoir et le mesureur en double tel que l'appareil est réellement installé dans mon laboratoire. Un des mesureurs est fixé à demeure dans un manchon de verre, rempli d'eau maintenue à température constante; l'autre mesureur est à l'air libre. Le premier système m'a fourni seul des résultats constants.

[2] J'ai trouvé la densité du chlorure employé $=2,145$. D'où il résulte que, pesé dans l'air ordinaire, à l'aide de poids de platine, il perd $0^{gr},0005366$ de son poids par gramme.

[3] Voir le troisième Mémoire.

l'azotate de sodium, j'indique la méthode que j'ai employée pour me procurer le chlorure sodique qui a servi; du reste, j'ai mis tous les soins imaginables pour garantir, autant que possible, sa pureté. Je fais connaître également le moyen auquel j'ai eu recours pour m'assurer de la quantité de matières étrangères qu'il contenait, quantité dont le poids s'élevait de $\frac{47 \text{ à } 50}{1,000,000}$ [1].

Après avoir chauffé jusqu'au rouge sombre une certaine quantité de chaque échantillon d'argent que je voulais comparer, j'en ai pesé dans l'air et à l'aide de poids de platine $9^{gr},99943$ représentant dans le vide $10^{gr},0000$ de ce métal. J'ai dissous chaque essai dans l'acide azotique pur à 1,24 de densité. La dissolution a été effectuée en plaçant le flacon dans un bain d'air chaud. Pour empêcher l'entraînement de l'argent par les gaz produits, j'ai incliné le flacon vers 40 à 45 degrés, et à l'aide d'un bouchon de caoutchouc volcanisé, mais désulfuré par le moyen d'une solution bouillante d'hydrate de sodium, j'ai adapté un tube recourbé dont la branche descendante est munie d'une boule. L'extrémité du tube plongeait dans de l'eau contenue dans un petit matras. La boule est suffisamment spacieuse pour contenir le liquide destiné au lavage du gaz. J'ai maintenu la température assez basse pour que la dissolution s'opérât lentement, condition absolument indispensable lorsqu'on veut éviter l'entraînement de la solution d'argent par l'oxyde azotique dégagé.

La dissolution de l'argent étant effectuée, et le flacon étant refroidi, j'ai retourné le tube afin de faire couler dans l'intérieur du flacon l'eau de lavage qui était remontée dans la boule, et j'ai lavé ensuite à l'eau pure le matras et le tube, en ayant soin d'ajouter le liquide au contenu du flacon.

Tous les flacons ont été portés ensuite à la chambre obscure, où l'appareil d'essai était installé. *Toutes les surfaces de cette chambre obscure sont couvertes de trois couches de noir de fumée délayé dans une solution de*

[1] En purifiant, autant que possible, ce chlorure de sodium, et en déterminant en outre avec soin la quantité de matières étrangères retenues malgré ces purifications, j'avais pour but de faire servir ces nouvelles expériences à la détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure de sodium, afin de déduire de cette donnée le poids atomique de l'argent et le poids moléculaire du chlorure sodique.

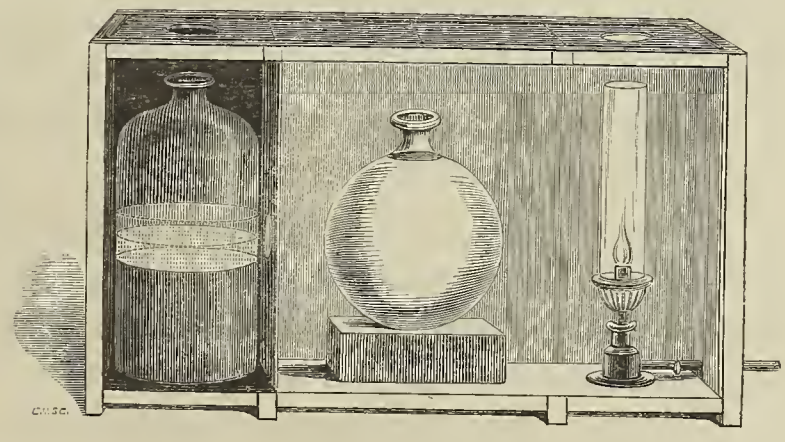
gélatine. La chambre était éclairée au gaz, et un écran en *verre jaune* était interposé entre la flamme et les objets qu'il s'agissait d'éclairer et qui sont altérables par la lumière blanche [1].

Les flacons étant entourés d'une enveloppe de caoutchouc, j'ai laissé couler dans chacun d'eux, et absolument dans la même condition de température, le liquide provenant de la vidange *deux fois répétée* du mesureur rempli de solution saline jusqu'à 0 division.

Pour être certain que la température du liquide contenu dans le mesureur était exactement celle du bain qui l'entourait, j'ai eu soin d'attendre que le niveau dans le tube capillaire restât constant, comme c'est le cas du liquide dans un thermomètre placé dans un milieu à température constante; *c'est même dans ce but que le tube capillaire calibré a été soudé à la pipette.*

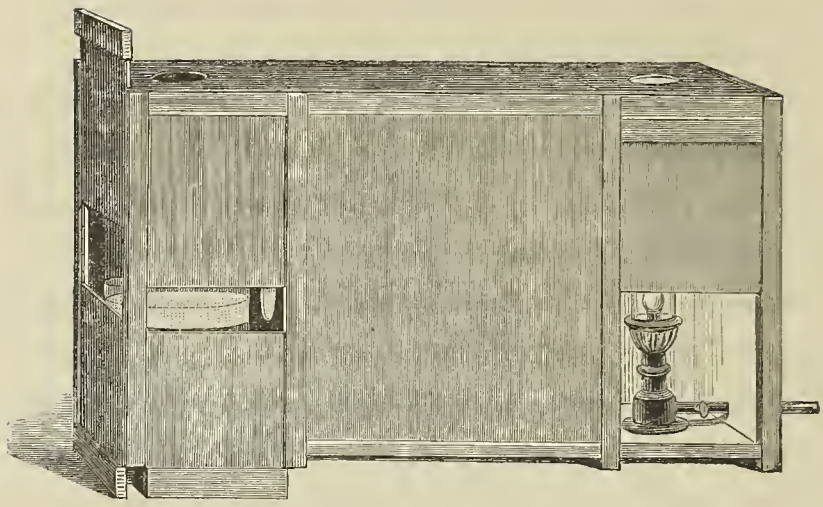
Après avoir bouché hermétiquement les flacons et agité vivement le liquide qui y est renfermé, pour l'éclaircir, je les ai portés successivement dans l'*appareil à titration* figuré ci-dessous, où j'ai procédé à la recherche de l'argent ou du sel marin en excès.

Fig. 3.



[1] Dans les monnaies, comme dans les laboratoires de chimie, l'essai du titre de l'argent se fait à la lumière diffuse. *J'ose affirmer qu'aucune détermination exacte n'est possible dans cette condition.* Les essais comparatifs que j'ai faits ne me laissent aucun doute à ce sujet; toutefois l'erreur que l'on peut commettre ainsi n'influe point sensiblement sur le résultat, eu égard à la limite assez large dans laquelle on se renferme.

Fig. 4.



Cet appareil se compose d'un parallélipipède de bois, long de 70 centimètres, large de 22 centimètres et haut de 45 centimètres, couvert en haut de planches mobiles, dont deux trouées au centre. Son intérieur est tout à fait noirci, et séparé en deux compartiments par un écran mobile, muni d'une ouverture circulaire de trois centimètres de diamètre. Cette ouverture donne passage à un cône de lumière jaune émané d'un ballon parfaitement sphérique, et contenant une solution de chromate neutre de sodium. Vis-à-vis de la sphère est disposée, à une distance convenable, une lampe à gaz ou à pétrole (je me suis servi de l'un et de l'autre), dont la flamme est réglée de manière à ce que la partie la plus éclairante du cône lumineux corresponde au centre du ballon.

De l'autre côté de l'écran troué est placé, également à une distance convenable, le flacon contenant l'essai. J'ai soin d'élever ou d'abaisser le flacon de telle sorte, que la surface du liquide qui y est contenu coïncide exactement avec le milieu de l'ouverture.

En examinant le liquide, soit par les petites portes à coulisse ménagées sur le devant de l'appareil, soit par les petites portes ménagées sur le côté, on s'aperçoit qu'une section de quelques centimètres seulement du liquide est vivement éclairée, tandis que le restant ainsi que le chlorure au fond du flacon sont dans l'obscurité complète. Du reste, la hauteur de la section du liquide éclairée dépend du faisceau lumineux, et le faisceau lumineux dépend simul-

tanément du diamètre de la sphère et de la position relative de la lampe et du flacon par rapport à la sphère.

Tout trouble, quelque minime qu'il soit, produit dans la partie supérieure du liquide par la formation du chlorure d'argent, se fait apercevoir; en effet, les corps en suspension y deviennent à l'instant lumineux. J'ai fait connaître déjà, dans mon Mémoire de 1860, l'aspect que prend le précipité de chlorure d'argent suivant la richesse du liquide en argent; je n'y reviendrai pas. Je me permettrai seulement de répéter que, à l'aide de cet artifice, on constate, au bout de peu d'instants, un *vingtième de milligramme* d'argent dans un litre d'eau distillée et que, en attendant suffisamment (quinze minutes), on peut reconnaître et doser un *cinquantième* et même un *centième* de milligramme dans un litre de liquide, après avoir laissé tomber à sa surface une solution de chlorure contenant une quantité équivalente de chlore. La minime quantité de chlorure d'argent produite se transforme en une *espèce de voile*, qui augmente d'épaisseur et d'éclat à mesure que s'effectue le mélange du liquide ajouté avec celui qui existe dans le flacon.

Pour déterminer la quantité d'argent ou de chlorure de sodium non précipitée, je me suis servi de liqueurs normales de sel marin et d'argent. Le compteur que j'ai employé à cet effet débitait exactement *vingt gouttes* par centimètre cube de liquide. *Un cent millième* d'argent était ainsi représenté par *deux gouttes*. Or, ceux qui se sont suffisamment familiarisés avec la méthode de la voie humide savent qu'*une* goutte de liqueur normale suffit pour s'assurer de la présence ou de l'absence de l'argent dissous.

Voici le résultat des essais de l'argent de différentes provenances. J'y ai ajouté trois essais de l'argent préparé par le procédé de Gay-Lussac, afin de montrer combien cette méthode est impuissante pour fournir du métal pur; j'ai du reste insisté assez sur le fait de cette impureté dans mon précédent travail.

TITRE DE L'ARGENT DE DIFFÉRENTES PROVENANCES.

(10gr,000 d'argent précipités par 5gr,420 de chlorure de sodium.)

PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DE L'ARGENT.	POIDS De chlorure nécessaire pour la précipitation de l'argent resté dissous.	POIDS De l'argent nécessaire pour la précipitation du chlorure non décomposé.	TITRE De l'argent, le métal distillé étant 100,000.
		Première série.	
Électrolyse de cyanure d'argent et d'ammonium; métal fondu au gaz *tonnant* dans un creuset de chaux et coulé dans l'eau.	1° 0gr,00065 2° 0gr,00060	0gr,0000 0gr,0000	99,998
Réduction de l'azotate d'argent ammoniacal par le sucre de lait et l'hydrate de potassium purs (procédé de M. Von Liebig); fusion avec borate et azotate de sodium.	1° 0gr,00045 2° 0gr,00040	0gr,0000 0gr,0000	99,994
Réduction du chlorure pur par le carbonate de sodium et le nitre purs.	0gr,00045	0gr,0000	99,995
		Deuxième série.	
Électrolyse de cyanure d'argent et d'ammonium; métal fondu au gaz *tonnant* dans un creuset de chaux et coulé dans l'eau.	0gr,00065	0gr,0000	99,999
Réduction du chlorure pur par l'hydrate de potassium et le sucre de lait purs; fusion avec borate et azotate de sodium.	0gr,00045	0gr,0000	99,995
Réduction du chlorure pur par l'hydrate de potassium et le sucre de lait purs; fusion avec borate et azotate de sodium; affinage au gaz *tonnant;* coulage dans de l'eau.	0gr,00065	0gr,0000	99,999
Distillation de l'argent affiné produit par la réduction du chlorure pur à l'aide de l'hydrate de potassium et du sucre de lait.	1° 0gr,00075 2° 0gr,00070	0gr,0000 0gr,0000	100,000
		Troisième série.	
Électrolyse de cyanure d'argent et d'ammonium; métal fondu au gaz *tonnant* dans un creuset de chaux et coulé dans l'eau.	0gr,00060	0gr,0000	99,997

PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DE L'ARGENT.	POIDS De chlorure nécessaire pour la précipitation de l'argent resté dissous.	POIDS De l'argent nécessaire pour la précipitation du chlorure non décomposé.	TITRE De l'argent, le métal distillé étant 100,000.
Réduction de l'azotate d'argent ammoniacal par les sulfites cuivreux et d'ammonium; métal fondu dans un creuset de chaux et coulé dans l'eau.	0gr,00055	0gr,0000	99,997
Réduction du chlorure à l'aide du charbon et de la craie (procédé de Gay-Lussac); un traitement [1].	0gr,00000	0gr,0025	99,975
Réduction du chlorure à l'aide du charbon et de la craie; deux traitements.	0gr,00000	0gr,0016	99,984
Réduction du chlorure à l'aide du charbon et de la craie; trois traitements.	0gr,00000	0gr,0009	99,991

[1] L'argent soumis à l'expérience est une partie de celui que j'avais essayé en 1857, et dans lequel j'avais trouvé *directement* vingt-trois cent-millièmes de matières étrangères, au lieu de vingt-cinq cent-millièmes, comme je le trouve maintenant.

Si l'on en excepte la méthode de Gay-Lussac, on peut donc admettre que tous les procédés indiqués dans mon précédent travail et ceux que j'ai décrits dans celui-ci, bien exécutés, peuvent fournir de l'argent absolument pur, pourvu qu'on se donne la peine de faire subir au métal une espèce d'affinage, en le chauffant jusqu'à l'ébullition dans un creuset de chaux, dans la flamme du gaz *tonnant*.

En jetant les yeux sur les chiffres inscrits dans le tableau qui précède, on remarquera la constance des résultats obtenus à l'aide d'un même métal. Pour les trois séries de déterminations, j'ai dû renouveler chaque fois le liquide salin, à cause de l'insuffisance de capacité du réservoir; mais à chaque série c'est le même chlorure et c'est le même argent, celui de l'électrolyse, qui ont servi de type de comparaison. Or, les résultats ont été identiques. On peut donc affirmer qu'en se plaçant dans les conditions convenables, et que j'ai suffisamment indiquées, il est possible de saisir le moment précis ou l'*élimination complète* de l'argent dissous est effectuée; il n'y a aucun doute que la méthode de la voie humide pour la *comparaison* des différents argents entre eux ne puisse donner des résultats presque mathématiquement exacts.

Lorsque, pour les déterminations consignées dans ce travail, j'ai dû doser

la quantité d'argent ou de chlore, de brome ou d'iode existant dans un liquide au sein duquel j'avais formé soit du chlorure, soit du bromure, soit de l'iodure d'argent, j'ai exécuté ce dosage en me mettant dans les conditions identiques à celles que je viens de décrire au sujet de la détermination du titre de l'argent, et en y consacrant les mêmes soins. Les résultats méritent donc la même confiance.

Après avoir exposé les méthodes employées pour me procurer l'argent pur, je vais faire connaître maintenant les moyens auxquels j'ai eu recours pour la préparation du chlorure d'ammonium destiné à la détermination du rapport proportionnel de ce métal avec le chlorure.

II. — Du chlorure d'ammonium.

1° *Chlorure d'ammonium obtenu par l'ammoniaque extraite du sel ammoniac purifié à l'eau régale.*

Dix litres de solution bouillante et saturée de sel ammoniac ont été additionnés d'un litre d'acide azotique de 1,4 de densité. Le liquide a été tenu en ébullition tant qu'il s'est dégagé du chlore. Le sel ammoniac, qui s'est séparé du liquide par le refroidissement, a été dissous dans de l'eau pure et bouillante, et la solution a été mise en ébullition avec un vingtième de son volume d'acide azotique tant qu'il s'est produit du chlore. La liqueur diluée d'eau pure, au point de ne plus abandonner du chlorure par le refroidissement, a été versée sur de l'hydrate de calcium renfermé dans une grande cornue, pour mettre l'ammoniaque en liberté. Celle-ci, lavée d'abord à l'eau, a été reçue ensuite dans de l'eau pure. La solution ammoniacale produite a été à son tour saturée à peu près par un courant d'acide chlorhydrique pur.

Le chlorure d'ammonium, qui s'est déposé du liquide après sa concentration et son refroidissement, a été séché à 100° en faisant passer d'une manière continue un courant de gaz ammoniac pur dans le ballon à long col où s'opérait sa dessiccation. Celle-ci étant complète, j'ai sublimé le sel ammoniac en élevant le moins possible la température, et en maintenant également autant que possible le col du ballon rempli de gaz ammoniac sec.

Le chlorure s'est volatilisé sans laisser la moindre trace charbonneuse, preuve que le sel ammoniac ne contenait aucune ammoniaque composée. Seulement il était facile de s'apercevoir que le fond du ballon, qui était de verre ordinaire, était très-légèrement attaqué. En le cassant pour en détacher le chlorure sublimé, j'ai constaté en effet qu'il s'y était formé des traces de chlorures de sodium et de calcium aux dépens de la substance du verre, et que de la silice était devenue libre. A l'aide de l'analyse spectrale, j'ai pu reconnaître que le sel ammoniac sublimé, qui était absolument incolore et d'une remarquable transparence, contenait des traces de sodium, mais qu'il était absolument dépourvu de calcium.

Dans le but d'éliminer les traces de chlorure sodique qui ont été entraînées avec les vapeurs du sel ammoniac, je l'ai sublimé encore deux fois, dans une atmosphère d'ammoniaque, à la plus basse température possible, et en sacrifiant à cette opération des vases en *verre dur*, que j'ai fait fabriquer expressément pour la transformation des chlorures alcalins en azotates de ces métaux. A la température à laquelle s'accomplit la sublimation du chlorure d'ammonium, ces vases résistent indéfiniment à la vapeur de ce corps. Dans la notice *De la transformation des chlorures en azotates*, j'indique la composition du verre de ces vases.

J'ai fait, à l'aide de ce chlorure, deux déterminations, l'une à la température ordinaire, l'autre à 100°; le n° I du tableau indique toutes les données et le résultat fourni par la double décomposition opérée à la température ordinaire; le n° II du tableau donne les résultats obtenus à 100°.

Le chlorure d'ammonium, avant d'être employé à la détermination, a été chauffé, dans le vase même où il a été pesé, jusqu'au point d'émettre des vapeurs, afin d'éliminer l'ammoniaque condensée.

2° *Chlorure d'ammonium produit à l'aide de l'ammoniaque extraite du sulfate du commerce.*

Pour préparer le chlorure d'ammonium à l'aide de l'ammoniaque du sulfate du commerce, j'ai préalablement soumis ce dernier composé au traitement suivant : Deux kilogrammes de sulfate ont été chauffés avec un kilo-

gramme et demi d'acide sulfurique concentré, jusqu'à la température à laquelle le sulfate commence à se décomposer avec effervescence. Arrivé à ce moment, j'ai introduit de l'acide azotique petit à petit dans le mélange jusqu'à ce que le liquide, qui s'était plus ou moins fortement coloré en brun noirâtre, fût devenu complétement incolore. Les ammoniaques composées et les matières organiques contenues dans ce sulfate sont ainsi complétement détruites avec dégagement d'anhydride carbonique.

Le sulfate acide convenablement refroidi est versé dans environ dix fois son volume d'eau froide, et l'excédant d'acide est saturé à peu près par un lait de chaux. Le liquide qui surnage le dépôt de sulfate de calcium est mêlé avec un excès suffisant de chaux éteinte contenue dans un très-grand ballon, et celui-ci est chauffé dans un bain de solution saturée de sel marin, afin d'éliminer l'ammoniaque qu'il renferme. Celle-ci, après un lavage à l'eau, est reçue dans de l'eau pure.

L'ammoniaque dissoute est saturée ensuite à l'aide d'un courant d'acide chlorhydrique pur. La solution de sel ammoniac produite est évaporée jusqu'à siccité dans un ballon de *verre dur,* et le résidu est sublimé dans une atmosphère d'ammoniaque extraite d'une partie du même chlorure.

Le sel ammoniac s'est volatilisé sans laisser de trace de résidu. Le produit sublimé était absolument incolore, il exhalait une odeur ammoniacale. Avant d'être employé à la détermination du rapport proportionnel, il a été chauffé jusqu'au point d'émettre des vapeurs, afin d'éliminer l'ammoniaque condensée.

Les n^{os} III et IV du tableau indiquent les résultats qu'il a fournis, la double décomposition étant faite à la température ordinaire pour le n° III, et à la température de 100° pour le n° IV.

3° *Chlorure d'ammonium obtenu à l'aide de l'ammoniaque produite par la réduction de l'azotite de potassium.*

Pour me procurer l'azotite de potassium, j'ai eu recours au procédé de Stromeyer. A cet effet, j'ai fait chauffer au rouge bien décidé, dans une petite chaudière de fonte, un kilogramme de nitre avec quatre kilogrammes de

plomb. La vive incandescence qui se produisit étant passée, et le mélange suffisamment refroidi, je l'ai lessivé à l'eau bouillante. J'ai éliminé ensuite, à l'aide d'une solution de sulfhydrate de potassium, le plomb contenu dans la solution d'azotite. Au liquide débarrassé du sulfure de plomb, et préalablement concentré, j'ai ajouté quinze litres de solution de potasse caustique à 1,250 de densité. Ce mélange a été versé dans un ballon de vingt-cinq litres placé dans un bain de sable, et qui contenait un mélange de trois kilogrammes et demi de zinc grenaillé, dépouillé de carbone par sa fusion avec un mélange de carbonate de sodium et de nitre [1], et d'un kilogramme et demi de fil de fer, qui, après avoir été oxydé par sa calcination au contact de l'air, a été réduit par de l'hydrogène.

Le ballon était mis en communication, à l'aide d'un large tube recourbé, avec un système de lavage et de condensation de l'ammoniaque qui devait prendre naissance. Le système se composait : 1° d'une grande cornue tubulée placée sur un fourneau, et renfermant une certaine quantité d'eau pure dans laquelle le tube à dégagement plongeait; 2° d'un grand flacon de Woulf à trois tubulures contenant un demi-litre d'eau pure; 3° d'un flacon de Woulf renfermant de l'eau acidulée à l'aide de l'acide chlorhydrique, destinée à retenir l'ammoniaque entraînée par le courant d'hydrogène, qui se produit très-abondamment lorsque la réduction de l'azotite est opérée, et que le liquide du ballon est porté à l'ébullition.

Avant de procéder à la distillation du liquide contenu dans le ballon, j'ai eu soin de laisser réagir les matières pendant soixante-douze heures, afin de réduire préalablement, et aussi complétement que possible, l'azotite de potassium en ammoniaque et en oxyde de potassium et de zinc. Ce temps écoulé, j'ai fait porter le liquide à une douce ébullition, dans laquelle je l'ai maintenu pendant deux heures, en ayant soin de tenir à son point d'ébullition l'eau contenue dans la cornue, et de refroidir, autant que possible, l'eau renfermée dans le grand flacon de Woulf et destinée à la condensation de l'ammoniaque.

[1] On peut obtenir du zinc dépouillé de carbone en le fondant avec cinq pour cent de son poids de litharge. L'alliage de zinc et de plomb, qui se produit ainsi, réduit tout aussi bien l'azotite de potassium en présence du fer que le zinc pur. En présence des acides chlorhydrique et sulfurique dilués, il dégage de l'hydrogène avec une facilité extrême.

Il est absolument indispensable de maintenir le liquide contenu dans le balion dans une *très-douce ébullition*, parce qu'il mousse très-fortement par le dégagement d'hydrogène qui s'effectue à une température élevée. J'engage les chimistes qui désireraient se procurer par ce moyen de l'ammoniaque absolument pure, à soumettre à la distillation le liquide décanté du mélange de zinc et de fer. Comme je m'en suis assuré dans un essai subséquent, la réduction de l'azotite en ammoniaque étant accomplie, on peut distiller sans la moindre difficulté le liquide décanté.

La solution ammoniacale produite présentait absolument la même odeur que celle offerte par l'ammoniaque extraite du chlorure d'ammonium traité à l'eau régale, ou du sulfate d'ammonium traité à chaud par un mélange d'acide sulfurique et d'acide azotique. Ces trois ammoniaques identiques entre elles, diffèrent néanmoins très-sensiblement, quant à l'odeur, de l'ammoniaque pure qu'on retire du chlorure ou du sulfate d'ammonium du commerce, contenant l'un et l'autre des ammoniaques composées qui lui communiquent une odeur désagréable, tandis que l'odeur de l'ammoniaque pure est simplement piquante. J'ai déjà eu l'occasion de constater ces faits, et je les avais consignés dans mon travail précédent sur le même sujet.

Pour transformer en chlorure l'ammoniaque dissoute, j'ai fait passer au travers de la solution un courant d'acide chlorhydrique pur, jusqu'à ce que le liquide fût presque complétement saturé. J'ai évaporé ensuite la liqueur saline au bain-marie, et j'ai achevé sa dessiccation à l'étuve. Ce chlorure d'ammonium était d'une blancheur éblouissante. J'ai procédé à *sa sublimation dans une grande cornue de platine* purifiée au rouge au chlorure d'ammonium. Afin d'exclure l'air de la cornue, j'y ai maintenu, pendant tout le temps qu'a duré la volatilisation, un très-léger courant d'ammoniaque sèche. Cette précaution est absolument indispensable, parce que, en présence de l'air et du platine chauffé, la vapeur de sel ammoniac produit très-facilement de l'acide azotique et ensuite du chlore.

Le chlorure d'ammonium volatilisé tapissait le tiers supérieur de la cucurbite de la cornue, sous la forme d'un anneau très-compact cristallisé, incolore, transparent, d'un demi-centimètre d'épaisseur; tandis que le chapiteau et son col étaient remplis de chlorure d'ammonium en poussière fine, d'une blan-

cheur éblouissante. L'un et l'autre exhalaient une forte odeur ammoniacale.

Avant de servir à la détermination du rapport proportionnel, le chlorure compact et le chlorure en poussière ont été chauffés, dans l'appareil même où leurs poids étaient fixés, jusqu'à émettre des vapeurs de sel ammoniac, afin d'en éliminer la dernière trace d'ammoniaque condensée.

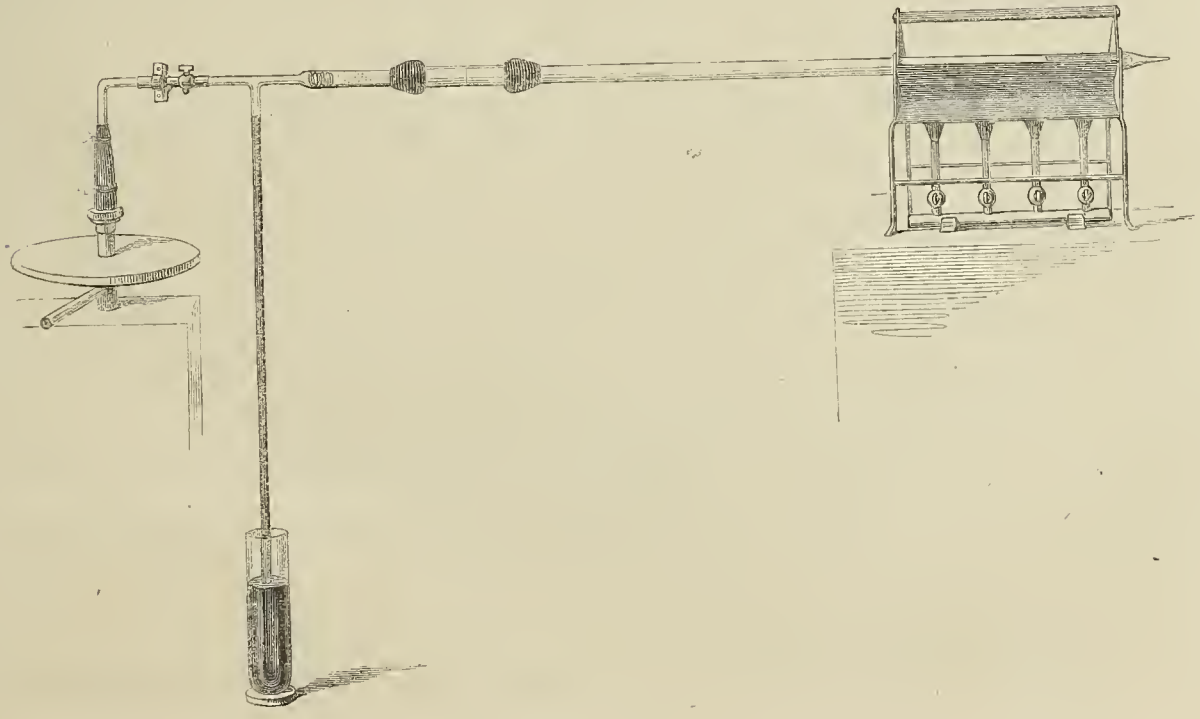
Le n° V du tableau présente le rapport proportionnel fourni par le chlorure d'ammonium en masse cristalline; le n° VI celui du chlorure d'ammonium en poussière impalpable; la détermination ayant été faite pour l'un et l'autre à la température ordinaire.

Le n° VII donne le résultat offert par le chlorure d'ammonium en masse, mais la double décomposition ayant été accomplie à 100°.

4° Chlorure d'ammonium volatilisé dans le vide.

J'ai opéré la volatilisation du sel ammoniac dans le vide, à l'aide de l'appareil figuré et décrit ci-dessous :

Fig. 5.



Quarante grammes de chlorure d'ammonium, provenant de la combinaison directe de l'acide chlorhydrique et de l'ammoniaque produite par la réduction de l'azotite de potassium, ont été introduits dans un tube de verre, long de quatre-vingt-quinze centimètres, large de trois centimètres, fermé par un bout et ouvert par l'autre. Le chlorure, préalablement bien séché, étant amené vers le bout fermé, j'ai placé le tube, dans une position horizontale, sur le support métallique d'une grille à gaz; j'ai appliqué le bout ouvert contre un deuxième tube ouvert, de même diamètre, et j'ai passé au-dessus des deux parties juxtaposées une tubulure en verre, de dix centimètres de longueur, que j'ai fixée à l'aide d'un mastic à la gomme-laque, en ayant la précaution de laisser pénétrer une partie du mastic entre la tubulure et les deux parties juxtaposées. Au deuxième tube était soudé un tube en T, dont la très-courte branche, presque capillaire, s'engage dans une branche d'un robinet d'acier, et dans laquelle je l'ai luté hermétiquement avec un mastic résineux. La branche verticale du tube en T, longue de 90 centimètres, plongeait dans une éprouvette contenant du mercure. Dans l'autre branche du robinet, j'ai mastiqué un tube capillaire qui est mis en communication avec une machine pneumatique pouvant faire le vide dans cet appareil à $0^m,0005$. Afin d'éviter que le sel ammoniac qui, dans le vide, se condense sous la forme de poussière impalpable, ne pénètre dans le tube presque capillaire et ne l'obstrue, j'ai rempli le large tube, auquel le tube en T est soudé, d'une bourre de fils fins de platine précédée d'une très-grande quantité d'asbeste feutré, calciné et encore chaud. Avant de commencer la sublimation du sel ammoniac, je me suis assuré que le système tenait le vide pendant vingt-quatre heures. J'ai procédé alors à la volatilisation. A cet effet, j'ai chauffé directement à la flamme du gaz la partie du tube contenant le sel ammoniac, *en prenant la précaution de maintenir la température aussi basse que possible*. Pendant tout le temps de la sublimation, le mercure a été dans un mouvement continuel de va-et-vient dans la branche verticale du tube en T, et le chlorure s'est condensé, partie en poussière, partie sous forme d'un anneau épais incolore. Ayant laissé refroidir assez le tube pour enlever toute tension au sel ammoniac, le mercure s'est élevé dans le tube au même niveau qu'il avait avant l'opération; preuve qu'aucune trace de

gaz n'avait pris naissance, pendant la sublimation, qui ne se fût combinée ensuite. J'ai opéré une deuxième et ensuite une troisième volatilisation du sel ammoniac, en faisant toujours avancer le chlorure sublimé. Pendant tout le temps employé à ces deux volatilisations, j'ai eu soin de faire fonctionner continuellement la pompe pneumatique, afin d'entraîner le gaz qui aurait pu devenir libre.

Après le refroidissement complet du tube, le sel ammoniac sublimé en anneau compact s'est détaché avec bruit du tube, en devenant en même temps opaque, de transparent et très-réfringent qu'il était à chaud.

J'ai déterminé séparément, et tels qu'ils sont sortis du tube, le rapport proportionnel du sel ammoniac en masse compacte et en poussière impalpable. Le n° VIII du tableau indique le résultat fourni par le sel ammoniac en masse, et le n° IX donne celui du chlorure en poussière. L'un et l'autre contenaient des traces de sodium, mais sensibles seulement à l'analyse spectrale, métal qu'ils avaient probablement enlevé au tube en verre blanc ordinaire, dans lequel la triple volatilisation a été effectuée.

Mode de détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure d'ammonium.

Le mode de détermination que j'ai suivi est celui indiqué dans mon précédent travail. Afin d'éviter la perte d'acide chlorhydrique qui aurait pu devenir libre par l'introduction du chlorure d'ammonium dans la solution d'azotate acide d'argent très-chaude, j'ai neutralisé par de l'ammoniaque pure l'excès d'acide azotique destiné à la dissolution de l'argent. Voici comment j'ai procédé à cet égard. Après avoir ajouté à la dissolution de l'argent dans l'acide azotique 100 *centimètres cubes d'eau par gramme de métal* dissous, j'ai instillé goutte à goutte de l'ammoniaque dissoute et pure. Lorsque le liquide exhalait une odeur ammoniacale sensible, j'ai fait disparaître cette odeur par une addition ménagée d'*acide acétique pur*.

Pour que la double décomposition se fît absolument dans des conditions identiques, j'ai neutralisé par l'ammoniaque aussi bien la solution argentique

qui devait être précipitée à froid que celle qui était destinée à l'être à 100°. Afin que la solution eût environ 100° au moment de la double décomposition, j'ai maintenu dans l'eau bouillante, *pendant deux heures*, le flacon ou le ballon dans lequel l'essai se faisait, et, sans le sortir du bain, j'y ai introduit le chlorure d'ammonium. La précipitation s'accomplissant à une température élevée, l'éclaircissement du liquide se produit au moment même où le mélange exact des matières réagissantes est effectué.

J'ai pesé dans l'air [1] le chlorure d'ammonium et l'argent employés, en supposant, d'après l'hypothèse de Prout, le poids de la molécule de chlorure d'ammonium 53,50, et le poids atomique de l'argent 108,00. L'excédant du métal existant dans le liquide après la double décomposition a été déterminé tout en maintenant le flacon ou le ballon dans le bain. J'ai fait passer à cet effet un faisceau de lumière jaune à la surface du liquide dans lequel j'avais à doser l'argent. L'essai comparatif fait à la température ordinaire a été exécuté à l'aide de l'appareil à *titration* que j'ai décrit page 43.

Le tableau suivant renferme toutes les données qui sont intervenues dans ces trois séries d'expériences. J'y ai joint trois déterminations empruntées à mon précédent travail; elles sont relatives à du chlorure d'ammonium produit à la température ordinaire, en combinant directement l'ammoniaque et l'acide chlorhydrique dissous.

[1] Pour ramener au vide le chlorure d'ammonium pesé dans l'air, j'ai pesé dans l'air et dans le vide une partie du sel ammoniac sur lequel je me proposais d'opérer. Ces essais m'ont convaincu, comme M. Marignac d'ailleurs l'avait déjà constaté, que l'augmentation de poids, obtenue en pesant directement dans le vide le chlorure pulvérulent, était toujours moindre que celle qu'on eût calculée en partant de la densité. J'ai trouvé que 100,000 de chlorure pulvérulent pesés dans l'air représentent de 100,077 à 100,084 du même composé pesé dans le vide. M. Marignac donne le chiffre 100,080 comme moyenne des extrêmes. Ces pesées m'ont permis également d'observer que la densité du sel ammoniac compact diffère sensiblement, suivant qu'il est transparent et vitreux, ou opaque et amorphe.

Les pesées dans le vide ont été faites par le moyen que j'indique dans le troisième Mémoire à l'occasion du chlorure de lithium.

RAPPORT PROPORTIONNEL ENTRE L'ARGENT ET LE CHLORURE D'AMMONIUM.

NUMÉROS D'ORDRE.	POIDS du sel ammoniac dans l'air.	POIDS du sel ammoniac réduit au vide.	POIDS de l'argent dans l'air.	POIDS de l'argent réduit au vide.	POIDS de l'excédant de l'argent après la double décomposition.	100,000 d'argent équivalent à chlorure d'ammonium.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	
PREMIÈRE SÉRIE.						
Chlorure produit à la température ordinaire en combinant l'acide chlorhydrique à l'ammoniaque dissoute. — Détermination faite à la température ordinaire.						
IX [1]	11,0004	11,0088	22,2220	22,2236	0,0300	49,600
X [1]	10,92155	10,92896	22,0660	22,06734	0,0280	49,599
XI [1]	12,25095	12,26038	24,74833	24,74991	0,0305	49,598
DEUXIÈME SÉRIE.						
Chlorure sublimé à la pression ordinaire. — Détermination faite à la température ordinaire.						
I.	11,7870	11,79643	23,8118	23,8133	0,0290	49,598
III.	11,7990	11,80844	23,8360	23,8376	0,0290	49,597
V.	6,2473	6,25216	12,6204	12,62116	0,0140	49,593
VI.	10,7090	10,71756	21,63416	21,6355	0,0262	49,597
TROISIÈME SÉRIE.						
Chlorure sublimé à la pression ordinaire.— Détermination faite à 100° centésimaux.						
II.	39,5896	39,62130	79,97816	79,98313	0,0970	49,5974
IV.	13,3956	13,40631	27,06150	27,06320	0,0355	49,602
VII.	7,5950	7,60107	15,34325	15,3442	0,0187	49,597
QUATRIÈME SÉRIE.						
Chlorure sublimé dans le vide. — Détermination faite à la température ordinaire.						
VIII	13,5025	13,5129	27,2767	27,2784	0,0355	49,598
IX	6,2198	6,2250	12,5655	12,5663	0,0140	49,592

[1] Ces expériences sont empruntées à mon précédent travail; j'ai conservé les numéros d'ordre du tableau.

Les résultats inscrits dans le tableau précédent prouvent que, dans la limite dans laquelle j'ai dû me renfermer pour rendre l'expérience possible, *la température n'exerce aucune influence sur la composition du chlorure d'ammonium et sur la composition du chlorure d'argent; ils prouvent de plus que la pression est sans influence aucune sur la composition du chlorure d'ammonium.* En effet, quels que soient le mode de préparation du composé d'ammonium et la température à laquelle la double décomposition s'accomplit, *son rapport proportionnel avec l'argent est constant.* Si tant est que la constance admise des combinaisons chimiques stables avait encore besoin d'être démontrée, il me semble que l'identité presque absolue des résultats des quatre séries de déterminations la démontre à suffisance de preuve. Cette constance est ici d'autant plus remarquable, que le sel ammoniac peut, comme je l'ai observé, condenser du gaz ammoniac ou de l'acide chlorhydrique, *au même titre qu'une foule de corps condensent des gaz et des vapeurs complétement étrangers à leurs éléments constitutifs.*

Parmi les douze déterminations consignées dans le tableau, il s'en trouve une, le n° II, qui a été faite sur une telle quantité de matière que jamais, dans aucune expérience de ce genre, on n'a pris une pareille masse. En opérant sur des proportions si considérables, j'avais un double but : je voulais rendre sensible l'influence de la température sur la composition du chlorure d'argent, si tant est que la température eût une influence; ensuite, comme j'avais affaire à du chlorure d'ammonium qui avait été sublimé à trois reprises différentes, et deux fois dans des vases de *verre dur,* inattaquable à la vapeur du chlorure, il devait donc être d'une rare pureté, et je devais pouvoir déduire une conséquence significative au point de vue de la vérification de l'hypothèse de Prout. Or, après la double décomposition opérée sur des poids calculés d'après l'hypothèse de Prout, il est resté dissous dans le liquide, $0^{gr},097$ d'argent, représentant une quantité *cent fois* plus grande que celle que je pouvais constater dans la masse de liquide, et certainement *cinquante fois* plus grande que celle qu'il est possible de doser en s'en donnant la peine.

J'invite ceux qui croient pouvoir attribuer « à des erreurs d'observation » ou « à l'impureté des matières [1] » les différences observées entre l'expé-

[1] *Cosmos*, t. XVII, p. 655.

rience et l'hypothèse de Prout, à bien vouloir se donner la peine de répéter, dans les conditions nécessaires d'exactitude, la détermination du rapport proportionnel entre le chlorure d'ammonium et l'argent, et j'attends avec une confiance entière le résultat de leur contrôle.

En m'exprimant ainsi, je ne prétends point que les chiffres auxquels je suis arrivé soient absolument exacts, c'est-à-dire qu'ils ne soient pas affectés d'une erreur constante. Je suis même certain du contraire, et dans les conditions dans lesquelles je me suis placé, l'erreur constante doit être portée à la limite *maxima*. En effet, l'opération d'où l'on déduit le rapport proportionnel entre le chlorure et l'argent comporte une incertitude sur laquelle j'ai déjà attiré l'attention des chimistes dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*. Cette incertitude consiste dans ce fait, qu'un liquide argentifère, et dont on a précipité à peu près tout le métal par une solution de chlorure de potassium, ou de sodium, ou d'ammonium, mais contenant encore un à deux milligrammes d'argent par litre, précipite également par l'addition d'une solution normale d'argent et de chlorure alcalin. J'ai reconnu que ce phénomène est d'autant plus prononcé que le liquide est *moins acide* et qu'il renferme plus d'azotate alcalin. Or, dans les doubles décompositions opérées entre l'azotate d'argent et le chlorure d'ammonium, j'ai été obligé, pour le motif que j'ai exposé plus haut, de neutraliser l'excès d'acide azotique par l'ammoniaque, et, pour le même motif, je n'ai ajouté qu'un faible excès d'acide acétique. Les conditions qui sont la cause première de l'incertitude existent donc toutes les deux, et elles doivent, comme je l'ai dit plus haut, porter l'erreur constante au *maximum*. Mais en tenant très-largement compte de cette erreur constante, il reste une différence tellement grande entre les résultats calculés et les résultats observés, qu'il est matériellement impossible de l'attribuer à une cause autre que l'inexactitude de l'hypothèse de Prout.

DEUXIÈME PARTIE.

DE L'INVARIABILITÉ DES RAPPORTS EN POIDS DES ÉLÉMENTS FORMANT LES COMBINAISONS CHIMIQUES.

PRÉLIMINAIRES.

Dans l'introduction de ce travail, j'ai dit que les lois des proportions chimiques ne sont point démontrées comme *lois mathématiques*. En effet, l'examen attentif de tous les faits que possède la science, au sujet de l'invariabilité des rapports en poids des éléments qui forment les combinaisons chimiques, m'a convaincu que les chimistes se sont plutôt fondés sur la constance de composition des combinaisons que sur la démonstration rigoureuse de la loi de Wenzel et de l'hypothèse de Dalton, connue sous le nom de *loi des proportions multiples*.

Je n'examinerai pas ici le célèbre Mémoire de Gay-Lussac *sur les combinaisons des substances gazeuses les unes avec les autres* [1], ni le Mémoire de Wollaston *sur les carbonates et les oxalates* [2] qui, depuis le commencement de ce siècle, ont servi de base expérimentale à l'hypothèse de Dalton. Aujourd'hui il est permis d'affirmer *a priori* que Gay-Lussac n'a pas pu démontrer sa *loi des volumes* comme loi mathématique; car elle ne peut être *en fait*, qu'une *loi limite*, puisque la loi de la compressibilité des fluides élastiques et la loi de la dilatation des gaz par la chaleur ne sont elles-mêmes que des lois limites. Les expériences de Wollaston sur les rapports de l'acide oxalique

[1] *Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil*, t. II, p. 207.

[2] *Philosophical transactions of the Royal Society*; année 1808, 1re partie, p. 96.

et de la potasse dans les oxalates neutres et acides ont été exécutées sur une échelle tellement restreinte, qu'il est impossible d'en déduire que la loi des proportions multiples est une loi mathématique ou une loi limite. Du reste, en admettant même que les quantités ont été suffisantes, le principe sur lequel le célèbre chimiste anglais s'est appuyé, la *neutralité mesurée à l'aide de matières colorantes*, n'est qu'une hypothèse dont le fondement avait besoin d'être prouvé *a priori*.

Toutes les analyses et les synthèses exécutées depuis un siècle sont également impuissantes pour la démonstration de la loi des proportions définies comme loi mathématique. En effet, quelle que soit l'habileté d'un chimiste, il lui est impossible d'exécuter une opération d'analyse ou de synthèse sans commettre une erreur dans l'observation. Or, jusqu'ici rien ne prouve que les différences constatées dans certaines analyses entre l'expérience et le calcul, d'après une hypothèse donnée, doivent être attribuées *en entier* à l'erreur commise dans l'opération matérielle; rien ne démontre qu'une certaine part n'en revient pas à l'inexactitude de la loi des proportions définies, considérée comme loi mathématique. Du reste, si les analyses et les synthèses existantes renfermaient en elles-mêmes les éléments de la solution rigoureuse de ce problème, tous les chimistes seraient d'accord sur les poids atomiques d'un grand nombre de corps, et l'hypothèse de Prout serait définitivement jugée. Le désaccord qui règne depuis longtemps au sujet de certains poids atomiques prouve donc mieux que tous les raisonnements possibles que la démonstration rigoureuse de la loi des proportions définies reste à faire.

La constance de composition des combinaisons stables étant admise, que faut-il pour résoudre ce problème? Il faut prouver que, dans les corps binaires et dans les corps ternaires, par exemple, ayant chacun *deux éléments communs*, les éléments communs y existent *invariablement dans les mêmes rapports en poids*. Ainsi dans deux corps AB et ABC, les rapports en poids de A à B doivent être exactement les mêmes dans AB et dans ABC.

On conçoit que la solution du problème ainsi posé peut devenir indépendante de l'analyse proprement dite; en effet, pour résoudre le problème, il s'agit seulement de rechercher si les corps ternaires peuvent être ramenés à l'état de corps binaires, sans qu'une fraction, quelque minime qu'elle soit,

d'un des éléments communs devienne libre, ou inversement, si des corps binaires peuvent être transformés en corps ternaires sans qu'une fraction d'un des éléments du composé binaire reste en dehors du composé ternaire produit.

Parmi les faits dont se compose la science chimique, on en cherche vainement un seul satisfaisant entièrement à ces conditions. La transformation du chlorate et du bromate de potassium en chlorure et en bromure sous l'influence de la chaleur s'en rapproche le plus. En effet, les chimistes qui ont étudié de près cette décomposition du chlorate ont observé des traces de chlore seulement dans l'oxygène dégagé. Dans l'analyse que M. Marignac a faite de ce dernier sel, il a essayé de doser ces traces de chlore [1]. De mon côté, j'ai fait tous mes efforts pour fixer sur l'argent chauffé au rouge le chlore entraîné [2]. Dans l'espoir de trouver dans la transformation du chlorate et du bromate de potassium en chlorure et bromure une solution du problème en question, j'ai fait de nouvelles et longues tentatives, mais elles sont restées toutes infructueuses. J'ai eu constamment des traces de chlore ou de brome, quoique j'eusse pris toutes les précautions imaginables pour dépouiller le chlorate et le bromate employés des quantités infiniment petites de silice ou de métaux étrangers qu'ils retiennent avec une désespérante ténacité. Je n'ai pas été plus heureux avec le perchlorate de potassium; quelle que soit la lenteur avec laquelle je l'ai décomposé par la chaleur, et quels qu'aient été les soins que j'ai pris pour le purifier, l'oxygène qu'il a fourni par l'action de la chaleur a toujours été vers la fin souillé par des traces de chlore.

Ayant échoué dans ces tentatives, j'ai porté mes recherches vers une autre direction. On sait que l'anhydride sulfureux transforme en iodure d'argent l'iodate de ce métal suspendu dans l'eau, en se convertissant en acide sulfurique. J'ai constaté que, sous la même influence, le bromate passe à l'état de bromure et le chlorate à l'état de chlorure d'argent. L'insolubilité absolue de l'iodure, du bromure et du chlorure d'argent dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique, et la possibilité de trouver au sein d'un liquide un dix millionième d'argent, d'iode, de brome ou de chlore, constituent donc des conditions

[1] *Bibliothèque universelle de Genève*, t. XL, p. 148.

[2] *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques* : ANALYSE DU CHLORATE DE POTASSE.

exceptionnellement favorables pour soumettre la loi des proportions définies à une épreuve décisive. C'est dans ce but que j'ai entrepris les recherches qui font l'objet de la deuxième partie de ce Mémoire.

Ces travaux ont été d'une extrême difficulté d'exécution. En effet, j'ai eu à lutter contre deux obstacles : l'un, facile à prévoir, réside dans la difficulté immense qu'il y a de se procurer des sels d'argent dans un degré de pureté suffisant pour être soumis à une épreuve d'une si redoutable rigueur; l'autre, tout à fait imprévu, est dû à la propriété présentée par l'acide sulfureux de s'altérer sous l'influence de causes encore obscures, ou plutôt complétement inconnues, et d'offrir, à l'état altéré, des caractères opposés à ceux qu'il avait avant d'avoir subi ce changement.

On conçoit qu'il m'est impossible de donner ici une idée des difficultés que j'ai rencontrées pour la préparation de l'*iodate*, du *bromate* et du *chlorate d'argent pur;* elles ont été naturellement différentes pour chacun de ces sels. Comme les tâtonnements par lesquels j'ai dû passer présentent un véritable enseignement pour ceux qui, dans la suite, voudraient répéter l'une ou l'autre de ces recherches, je rendrai compte très-exactement, dans des notices détaillées, des moyens auxquels j'ai eu recours pour obtenir ces sels et pour m'assurer de leur degré de pureté.

Je me bornerai à exposer ici, d'une manière générale, les observations que j'ai faites sur l'action qu'exerce l'acide sulfureux sur les composés d'argent, suivant que cet acide est intact ou qu'il a éprouvé une décomposition.

Un courant d'anhydride sulfureux, préparé à l'aide de la combustion du soufre dans l'air sec, ou par la décomposition de l'acide sulfurique par le cuivre, le mercure, le charbon, le bois, produit un précipité *blanc* de sulfite d'argent dans une solution aqueuse d'azotate et de sulfate d'argent; le liquide reste incolore. Une solution d'acide sulfureux tout récemment obtenue par le passage de l'anhydride au travers de l'eau bouillie et soustraite *à l'action de la lumière* se conduit comme l'anhydride sulfureux lui-même. Le sulfite d'argent produit, soustrait à l'action de la lumière, m'a semblé se conserver indéfiniment à la température ordinaire; mais, sous l'influence de la lumière et d'un excès d'acide sulfureux, il se transforme en un mélange de sulfate d'argent et d'argent métallique.

Un courant d'anhydride sulfureux et une solution aqueuse saturée et récente de cet anhydride ne précipitent point de sulfite d'argent d'une solution d'azotate ou de sulfate d'argent dissous dans l'eau acidulée par une quantité suffisante d'acide sulfurique ou d'acide azotique; *le liquide reste incolore*. Dans *l'obscurité complète* on peut même porter et maintenir longtemps vers 100° l'anhydride sulfureux en contact de l'azotate et du sulfate d'argent dissous dans l'acide sulfurique dilué, sans qu'il y ait la moindre coloration du liquide ou une précipitation quelconque.

Une solution d'acide sulfureux dans l'eau pure bouillie ou non bouillie, après avoir été abandonnée pendant un temps plus ou moins long à la lumière même diffuse, précipite en *gris* l'azotate et le sulfate d'argent dissous; au bout de quelques instants le liquide, au sein duquel le précipité gris s'est formé, se colore en jaune, en brun, en noir et finit par déposer du sulfure d'argent.

J'ai vu une pareille solution d'acide sulfureux altéré précipiter, dans l'obscurité, de l'argent métallique d'une solution d'azotate ou de sulfate d'argent dans l'acide sulfurique dilué, et même dans l'acide azotique dilué.

On voit donc que, dans certains cas, la solution d'acide sulfureux agit sur l'azotate et le sulfate d'argent comme le font la plupart des acides polythioniques, qui précipitent lentement du sulfure d'argent des solutions de ces sels. H. Rose avait déjà remarqué que l'anhydride sulfureux, obtenu par l'action du soufre sur le bioxyde de manganèse, se comporte à l'égard des sels solubles d'argent autrement que l'acide produit par la réduction de l'acide sulfurique par le mercure et le cuivre, même après avoir déposé par un repos suffisant le soufre qu'il entraîne. J'ai reconnu le même fait, mais à un degré moindre, pour l'anhydride sulfureux obtenu à l'aide de l'action du soufre sur l'acide sulfurique. En solution récente, l'un et l'autre se conduisent comme des solutions très-diluées d'acide pentathionique; ils précipitent de l'azotate d'argent un mélange de sulfite, de sulfate et de sulfure d'argent.

La différence que je viens de signaler dans l'action de l'acide sulfureux *intact* et de l'acide sulfureux *altéré* sur l'azotate et le sulfate d'argent, en solution dans l'eau pure ou dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique ou azotique, je l'ai observée dans l'action réductrice que ces acides intacts ou altérés exercent sur l'iodate, le bromate et le chlorate d'argent. *A une basse tempé-*

rature et dans l'obscurité complète, l'anhydride sulfureux et la solution de cet anhydride faite à l'instant même à l'abri de la lumière, réduisent à l'état d'iodure, de bromure, de chlorure, l'iodate, le bromate et le chlorate d'argent suspendus dans l'eau pure ou dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique. Quel que soit l'excès d'anhydride sulfureux ou de la solution d'acide sulfureux, l'iodure jaune pâle, le bromure jaune pâle d'abord, jaune foncé verdâtre ensuite, le chlorure blanc restent absolument intacts, et tous leurs éléments restent indéfiniment indissous, si ces composés sont absolument soustraits à la radiation solaire directe ou indirecte; on peut même porter à 100° et maintenir fort longtemps à cette température les liquides au sein desquels se trouvent ainsi de l'iodure, du bromure et du chlorure d'argent à côté de l'acide sulfureux, sans leur faire subir la moindre altération.

Le liquide qui surnage l'iodure, le bromure et le chlorure d'argent ne contient aucune trace d'acide iodhydrique, d'acide bromhydrique ou d'acide chlorhydrique. Au contraire, sous l'influence de la lumière et de l'acide sulfureux, l'iodure d'argent devient lentement *grisâtre*, le bromure devient très-rapidement noirâtre et le chlorure très-rapidement noir bleuâtre. Dans ce cas, les liquides renferment respectivement de l'acide iodhydrique, de l'acide bromhydrique et de l'acide chlorhydrique. Lorsque, par suite de la présence de l'air, l'acide sulfureux est passé à l'état d'acide sulfurique, l'iodure d'argent devenu *gris* redevient *jaune*, par suite de l'acide iodhydrique qui retourne à l'état d'iode, et l'iodure se maintient jaune, parce qu'il est inaltérable par la *lumière seule*, tandis que le bromure noirâtre et le chlorure noir bleuâtre se conservent dans leur état d'altération. En effet, les acides bromhydrique et chlorhydrique ne peuvent point passer sous l'influence de l'oxygène de l'air à l'état de brome et de chlore.

L'acide sulfureux altéré spontanément se conduit tout différemment avec l'iodate, le bromate et le chlorate d'argent. Ainsi, dans l'*obscurité la plus complète*, il transforme l'iodate d'argent suspendu dans l'eau pure ou dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique en iodure *orange*, et l'iodure, après avoir été lavé à l'eau et traité par le cyanure d'ammonium mêlé d'acide cyanhydrique, se dissous en abandonnant des flocons de soufre et même du sulfure d'argent, si l'altération de l'acide sulfureux est très-avancée. Dans

l'*obscurité la plus complète*, le bromate d'argent suspendu dans l'eau pure ou dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique passe instantanément à l'état de bromure jaune, sous l'influence de l'acide sulfureux altéré. Le liquide au sein duquel la réaction s'est effectuée se colore en jaune foncé, en brun, en noir, et, après s'être décoloré par le repos, il renferme une quantité notable d'acide bromhydrique. Le précipité insoluble, lavé d'abord à l'eau, et traité ensuite au cyanure d'ammonium mêlé d'acide cyanhydrique, laisse beaucoup de sulfure d'argent pour résidu.

Enfin, dans l'*obscurité la plus complète*, le chlorate d'argent, dissous dans l'eau pure ou dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique, est ramené, par l'acide sulfureux altéré, à l'état de chlorure mêlé de beaucoup de sulfure d'argent; le liquide surnageant le dépôt contient beaucoup d'acide chlorhydrique.

Ainsi donc l'acide sulfureux *intact* exerce sur l'iodate, le bromate et le chlorate d'argent une simple action de *réduction*, tandis que l'acide sulfureux *altéré* exerce à la fois une action de *réduction* et de *sulfuration*, comme le font du reste la plupart des acides polythioniques.

Lorsque j'ai exécuté les recherches qui sont consignées dans ce Mémoire, j'ignorais complétement que l'acide sulfureux pût éprouver une altération capable de communiquer aux produits de sa transformation les propriétés des acides polythioniques; je n'ai connu la possibilité de cette altération que lorsque mes travaux étaient entièrement terminés, sans cela il y aurait eu, je l'avoue, presque de la témérité de les avoir entrepris. Je dirai même que le hasard m'a servi à merveille et que, dans plusieurs circonstances, ma chance a été plus grande que ma prévoyance. Dans ce long travail je n'ai eu, en réalité, que deux accidents notables, dont l'un, à la vérité, m'a été fort sensible, puisqu'il a entraîné la perte de plus de quatre-vingts grammes de bromate d'argent pur. On verra, par l'exposé de mes recherches, que j'ai échappé aux accidents uniquement parce que j'ai employé pour la réduction des sels amphides à l'état de sels haloïdes un courant d'anhydride sulfureux, ou bien une solution d'acide sulfureux que je venais de préparer, dans la chambre obscure même, pour l'utiliser immédiatement. L'acide sulfureux, passant ainsi instantanément à l'état d'acide sulfurique, n'a pas eu le temps de s'altérer. Les seules précautions auxquelles j'ai eu recours, lorsque je me suis servi de la solution d'acide

sulfureux, ont été de prendre de l'eau bouillie très-froide, souvent même glacée, et d'exclure l'air des vases dans lesquels j'opérais la transformation de l'iodate, du bromate et du chlorate d'argent en iodure, bromure et chlorure de ce métal.

J'ai remplacé cet air par de l'anhydride carbonique. En agissant ainsi, j'avais pour but de conserver intact le titre de l'acide sulfureux dont je ne voulais pas exagérer la quantité, uniquement pour ne pas faire intervenir une trop grande quantité d'acide sulfurique. Ce dernier acide en effet est indispensable pour empêcher la précipitation de l'argent à l'état de sulfite, lorsqu'il reste de l'argent libre après la transformation des sels amphides en sels haloïdes. Du reste, *toutes les opérations de réduction de l'iodate, du bromate et du chlorate d'argent à l'état d'iodure, de bromure et de chlorure, ont été faites dans la chambre obscure, et, par surcroît de précaution, les vases renfermant les matières étaient entourés d'une double toile noire; il y avait en outre des écrans en verre jaune entre la flamme du gaz et les objets qu'il s'agissait d'éclairer.*

Ces explications données, je vais maintenant rendre compte de tous les essais tels qu'ils ont été faits. La rédaction de la plupart de ces notices date de l'époque à laquelle les travaux ont été exécutés. Les recherches sur la transformation de l'iodate et du bromate d'argent en iodure et bromure ont été commencées vers la fin de 1860 et terminées au commencement de 1862, et celles sur la transformation du chlorate en chlorure ont été accomplies à la fin de 1863 et terminées dans les premiers mois de 1864.

I. — Recherches sur la transformation de l'iodate d'argent en iodure, sous l'influence de l'acide sulfureux, faites dans le but de constater si le rapport en poids de l'iode a l'argent est le même dans ces deux corps.

1° *Iodate d'argent préparé par l'iodate de potasisum et l'azotate d'argent.*

Six cents centimètres cubes de solution froide d'azotate d'argent contenant cinq pour cent de ce sel ont été versés, petit à petit, dans un litre de solution froide d'iodate de potassium [1] renfermant également cinq pour cent de ce sel pur. L'iodate d'argent déposé a été lavé à froid par décantation jusqu'à la disparition complète du potassium dans l'eau de lavage [2]. Arrivé à ce moment, l'iodate, qui était tout à fait blanc, a été délayé dans de l'eau bouillante, et le mélange a été maintenu pendant quelque temps à 100°. Le sel a été lavé de nouveau à chaud ; il est devenu d'un blanc très-légèrement jaunâtre. A l'aide de l'analyse spectrale, il m'a été impossible d'y constater la moindre trace de potassium.

a. 19^{gr},8035 de cet iodate séché à 100° ont été introduits dans un flacon d'un demi-litre de capacité, et additionnés de deux cents centimètres cubes d'eau pure qui avaient reçu dix centimètres cubes d'acide sulfurique pur. Après avoir porté le flacon dans la chambre obscure, je l'ai enveloppé d'une double toile noire, et j'y ai fait passer un courant lent d'anhydride sulfureux [3], jusqu'à ce que le liquide qui y était contenu exhalât une odeur sensible de cet acide. Pendant le passage du gaz, j'avais soin d'agiter continuellement le flacon et de laisser couler sur la toile un filet d'eau à 10°.

La transformation de l'iodate en iodure étant accomplie, j'ai ajouté encore dix centimètres cubes d'acide sulfurique, dans le but de rendre soluble l'argent

[1] Voir à la fin du premier Mémoire la note n° 5 : *Préparation de l'iodate de potassium.*

[2] Voir à la fin du premier Mémoire la note n° 6 : *Sur le lavage et la dessiccation de l'iodate d'argent.*

[3] Voir à la fin du premier Mémoire la note n° 7 : *Sur la préparation de l'anhydride sulfureux employé pour la réduction de l'iodate, du bromate et du chlorate d'argent.*

qui aurait pu avoir été précipité à l'état de sulfite ou de sulfate. J'ai placé ensuite le flacon dans un bain, dont j'ai élevé la température jusqu'à 60° environ, dans le but de déterminer l'éclaircissement du liquide. En effet, une liqueur au sein de laquelle il s'est formé de l'iodure d'argent en présence de l'acide sulfureux ne s'éclaircit point par la simple agitation; il faut de toute nécessité l'intervention d'une température s'élevant entre 55 et 65°, suivant l'état de concentration du liquide acide, ou bien un repos prolongé pendant quinze à vingt jours.

A l'aide d'une solution normale de sulfate d'argent dans l'acide sulfurique, et d'une solution normale d'iode dans l'acide sulfureux, j'ai procédé à la recherche de l'iode ou de l'argent dans le liquide éclairci. A cet effet, j'ai placé le flacon au bain-marie, j'ai fait traverser la surface du liquide par un faisceau de lumière jaune, et j'ai constaté qu'il précipitait abondamment la solution normale d'iode. Il a fallu 7 à 7,2 centimètres cubes de cette solution pour éliminer tout l'argent libre, ce qui porte l'excès d'argent à 0,036 pour 100,000.

b. $20^{gr},605$ du même iodate, également séché à 100°, ont été introduits dans un flacon rempli d'anhydride carbonique dégagé du carbonate monosodique à l'aide de la chaleur seule. Le flacon étant entouré d'une toile noire et placé dans de l'eau à 10°, j'y ai laissé pénétrer petit à petit, tout en l'agitant continuellement, 375 centimètres cubes d'une solution d'anhydride sulfureux tout récemment préparée et contenant une quantité d'anhydride supérieure de cinq pour cent seulement à celle nécessaire pour la transformation de l'iodate en iodure d'argent. La réduction étant effectuée, j'ai ajouté vingt centimètres cubes d'acide sulfurique au contenu du flacon, et, après avoir fait agiter vivement le tout pendant une dizaine de minutes, j'ai placé le vase dans un bain d'eau dont j'ai élevé la température jusqu'à ce que le liquide se fût complétement éclairci, ce qui a eu lieu à 65°. Il a exigé de 7,5 à 7,6 centimètres cubes de solution normale d'iode dans l'acide sulfureux, pour se dépouiller de l'argent qu'il renfermait à l'état de sulfate, ce qui constitue un excès de 0,037 d'argent dans 100,000 d'iodate, quantité identique à celle obtenue dans l'essai précédent.

2° *Iodate d'argent préparé par l'iodate de potassium et le sulfate d'argent.*

Vingt grammes d'iodate de potassium pur, dissous dans un litre d'eau bouillante, ont été précipités par seize grammes de sulfate d'argent dissous dans un litre et demi d'eau bouillante. L'iodate d'argent a été maintenu quelques minutes dans l'eau mère en ébullition. Après le dépôt, l'iodate d'argent a été lavé à froid par décantation et le lavage a été continué jusqu'à la disparition complète du potassium dans l'eau de lavage. Le sel était d'un blanc très-légèrement jaunâtre, inaltérable à la lumière solaire directe. A l'aide de l'analyse spectrale, je ne suis pas parvenu à y déceler la moindre trace de potassium.

$28^{gr},540$ de cet iodate séché à 100° ont été introduits dans un flacon contenant deux cent cinquante centimètres cubes d'eau et vingt centimètres cubes d'acide sulfurique pur. L'iodate a été transformé en iodure à l'aide d'un courant d'anhydride sulfureux amené au travers du liquide acide, en prenant du reste toutes les précautions indiquées dans la première expérience faite sur l'iodate préparé à l'aide de l'azotate d'argent. Après la réduction et une vive agitation, le vase a été porté dans un bain et chauffé jusqu'à 55°, température à laquelle le liquide s'est complétement éclairci. J'ai divisé en deux parties la liqueur limpide surnageant l'iodure, et j'ai procédé sur chacune d'elles à la recherche de l'argent et de l'iode. Une moitié n'a produit absolument aucun trouble par l'addition d'une solution normale d'iode dans l'acide sulfureux, elle était donc complétement privée d'argent dissous à l'état de sulfate; l'autre a laissé apparaître un nuage excessivement faible, au bout d'un quart d'heure, par l'addition d'une solution normale d'argent. Il y avait donc des traces d'acide iodhydrique dans le liquide; mais mes efforts ont été impuissants pour en déterminer le poids.

L'iodure produit a été mis en digestion à chaud, pendant une heure, avec de l'eau acidulée par vingt pour cent de son poids d'acide azotique pur. Au bout de ce temps, le liquide n'a produit aucun trouble par l'addition d'une solution normale de sel marin. L'iodure ne renfermait donc aucune trace d'argent libre, ou de sulfite, ou de sulfate de ce métal.

3° *Iodate d'argent préparé par l'acide iodique et le sulfate d'argent.*

J'ai dissous cinquante grammes d'anhydride iodique [1] dans un litre d'eau froide, et j'ai ajouté au liquide cinq litres d'une solution aqueuse froide de sulfate d'argent, que j'avais maintenue en solution à l'aide de l'acide sulfurique pur que j'y avais ajouté en quantité suffisante. Le mélange, après avoir été longtemps soumis à une vive agitation, a été abandonné au repos. Lorsque le volume du précipité ne diminuait plus par le repos, le liquide limpide, contenant encore de l'acide iodique *libre*, a été décanté, et l'iodate a été lavé par décantation à froid et ensuite à chaud, tant que l'eau de lavage, *convenablement concentrée*, a contenu une trace d'acide sulfurique appréciable au tournesol. Il était d'un blanc très-légèrement jaunâtre. A l'aide du spectroscope, il m'a été impossible d'y découvrir la présence d'un métal autre que l'argent.

a. 32^{gr},819 de cet iodate, chauffé à 130°, ont été suspendus dans cent centimètres cubes d'eau bouillie, additionnés de quinze centimètres cubes d'acide sulfurique. L'atmosphère du vase contenant le mélange étant remplacée par de l'anhydride carbonique pur, j'y ai laissé pénétrer lentement quatre cents centimètres cubes de solution d'anhydride sulfureux préparé à l'instant même, et contenant un pour cent seulement d'anhydride sulfureux de plus que la quantité nécessaire pour la transformation de l'iodate en iodure. Pendant la réduction, le flacon était plongé dans un mélange d'eau et de glace et entretenu dans une agitation continuelle. L'opération terminée, j'ai soustrait une moitié du liquide surnageant, et après l'avoir renfermé dans un flacon bouché à l'émeri, je l'ai abandonné dans l'obscurité la plus complète à l'*éclaircissement spontané*. Il a fallu onze jours pour réaliser cette condition.

Le flacon contenant l'autre moitié du liquide, avec l'iodure produit, a été placé immédiatement au bain-marie et chauffé tout en agitant jusqu'à ce que l'éclaircissement du liquide se fût produit; il a eu lieu à 53°. Le liquide limpide a été divisé en deux parties : l'une, essayée à la liqueur normale d'iode, s'est montrée absolument dépourvue d'argent; l'autre, essayée à la liqueur normale de sulfate acide d'argent, a été reconnue complétement privée d'iode.

[1] Voir à la fin du premier Mémoire la note n° 8 : *Sur la préparation de l'acide iodique.*

L'iodure d'argent formé a été lavé trois fois à l'eau distillée et mis ensuite en digestion à 60° avec de l'acide azotique pur mêlé de cinq fois son volume d'eau. Après toute une journée de digestion, le liquide était absolument dépourvu d'argent, preuve qu'aucune trace de sulfite ou de sulfate d'argent n'avait été précipitée.

Enfin l'iodure d'argent a été lavé à l'eau pure et bouillante pour enlever aussi complétement que possible l'acide azotique, et, après le refroidissement, arrosé par une solution de cyanure d'ammonium mêlé d'acide cyanhydrique. Il s'y est entièrement dissous en produisant un liquide limpide incolore. Le liquide dont j'ai parlé plus haut, qui a été abandonné à l'éclaircissement spontané, s'est montré complétement privé d'argent ou d'acide iodhydrique.

b. 41^{gr},523 du même iodate séché à 130° ont été suspendus dans cinq cents centimètres cubes d'eau, contenant vingt-cinq centimètres cubes d'acide sulfurique pur. Le mélange, entouré de glace, a été soumis à un courant d'anhydride sulfureux, jusqu'à ce qu'il y eût sensiblement de l'acide sulfureux libre dans le liquide. J'ai déterminé l'éclaircissement du liquide par l'intervention de l'agitation et de la chaleur, et j'ai été impuissant pour découvrir dans le liquide, devenu limpide, la moindre trace d'iode à l'état d'acide iodhydrique, ou d'argent à l'état de sulfate d'argent.

4° Iodate d'argent préparé par l'iodate de potassium et le dithionate d'argent.

Ne pouvant me rendre compte de la différence des résultats fournis à l'aide des iodates obtenus par l'azotate et par le sulfate d'argent, que par l'entraînement de l'azotate de ce métal par l'iodate produit, j'ai pris le parti de contrôler les résultats en ayant recours à un troisième sel d'argent soluble. Le moins difficile à préparer que j'ai pu découvrir a été le dithionate.

Je me suis procuré une quantité assez considérable de ce composé, en saturant l'oxyde et le carbonate d'argent à l'aide de l'acide dithionique [1] obtenu

[1] Voir à la fin du premier Mémoire la note n° 9 : *Sur le dithionate de baryum et l'acide dithionique.*

par la décomposition du dithionate de baryum pur, au moyen de l'acide sulfurique dilué. Le dithionate d'argent avait cristallisé trois fois; il m'a paru très-stable à froid, lorsqu'il est tout à fait neutre, mais fort altérable au contraire à chaud et même à l'état dissous, surtout s'il a une réaction acide.

a. Vingt grammes d'iodate de potassium ont été dissous dans un litre d'eau glacée, et j'ai ajouté petit à petit un litre de solution, également refroidie à 0°, de dithionate d'argent tout à fait neutre et renfermant deux et demi pour cent de ce sel. Le mélange a été vivement agité pendant quelques minutes, et l'iodate déposé par le repos a été lavé à *froid* par agitation vive et par décantation, jusqu'à la disparition complète du potassium dans les eaux de lavage évaporées jusqu'à siccité. J'ai délayé le sel dans de l'eau bouillante, et j'ai maintenu le tout au moins une demi-heure à 100°; j'ai procédé ensuite à un nouveau lavage par agitation et par décantation. L'iodate précipité à *froid* était absolument blanc, mais il a sensiblement jauni sous l'influence de l'eau bouillante. Il ne contenait pas de trace de potassium sensible à l'analyse spectrale.

$17^{gr},118$ de ce sel, séché à 130°, ont été réduits à l'état d'iodure, à l'aide d'une quantité convenable de solution récemment faite et titrée d'acide sulfureux, en prenant les dispositions que j'ai indiquées page 71 à l'occasion de la transformation de l'iodate préparé par l'acide iodique et le sulfate d'argent. Le liquide de la réaction s'est éclairci à 60°; il a été séparé en deux parties : une moitié a été consacrée à la recherche de l'argent, l'autre à la recherche de l'iode. Or, l'une est restée absolument limpide après l'addition d'une solution normale de sulfate d'argent, et l'autre n'a produit absolument aucun trouble par son mélange avec une solution normale d'iode dans l'acide sulfureux.

b. Je me suis procuré environ *trois cents grammes* d'iodate d'argent en opérant comme je l'ai indiqué ci-dessus. Une partie de cette grande quantité était destinée à l'analyse de ce sel, par sa transformation en iodure à l'aide de l'acide sulfureux; une autre partie devait être analysée par l'action de la chaleur, comme je l'exposerai dans la notice consacrée à ce sujet.

En réduisant une quantité très-considérable d'iodate par l'acide sulfureux,

j'avais un triple but : je désirais m'assurer du degré de pureté du composé destiné à être analysé par une autre méthode, et je voulais en même temps rechercher si l'iodate peut être transformé en iodure, sans qu'une fraction quelconque d'argent ou d'iode devienne libre, et enfin si la quantité d'iodure produit de cette manière concorde avec celle qu'on obtient par l'action directe de la chaleur sur l'iodate.

Dans la notice consacrée à l'analyse *par différence* de l'iodate d'argent, j'expose tous les détails numériques de l'expérience dont je vais donner les résultats à un autre point de vue. Je me borne à renseigner ici le poids de l'iodate employé, et quelques-unes des recherches effectuées sur le liquide au sein duquel la transformation en iodure a été accomplie.

$76^{gr},556$ d'iodate, ne renfermant aucune trace de potassium appréciable à l'analyse spectrale, ont été pesés dans le vide après avoir été séchés à 180°; ils ont été fondus dans un ballon à deux cols où la pesée avait été effectuée. Après le refroidissement, l'iodate fondu était d'un blanc laiteux; il a été dissous dans la plus petite quantité possible d'eau ammoniacale pure. Cette solution, dans laquelle nageaient quelques flocons d'iodure ammoniacal d'argent *blanc*, après avoir été refroidie jusqu'à 0°, a été versée petit à petit dans un litre d'eau *glacée* contenant dix pour cent de son poids d'acide sulfurique pur.

Le grand vase à précipiter, renfermant l'eau acide, était entouré d'une double toile noire et placé dans de la glace. Les eaux de lavage du ballon à deux cols étant jointes au liquide du vase à précipiter, j'ai introduit lentement une solution récente d'acide sulfureux saturée à 0°, jusqu'à ce que la liqueur acide au sein de laquelle l'iodure d'argent s'est formé répandît, d'une manière permanente, une odeur sensible d'anhydride sulfureux. La transformation de l'iodate étant accomplie, j'ai introduit dans un bain d'eau le vase à précipiter; tout en agitant continuellement l'iodure dans le liquide, il m'a fallu élever la température jusqu'à 70° pour en obtenir l'éclaircissement.

Après le repos complet, j'ai décanté à l'aide d'un siphon le plus de liquide possible, et j'ai procédé à la recherche soit de l'argent, soit de l'iode dissous.

Or, en opérant sur des fractions de deux cents centimètres cubes du liquide, il m'a été impossible d'y découvrir la moindre trace soit d'acide iodhydrique, soit de sulfate d'argent, même après un contact de plusieurs heures avec les solutions normales d'argent et d'iode.

Les résultats fournis par la transformation de l'iodate préparé à l'aide du sulfate et du dithionate d'argent me semblent prouver que l'azotate d'argent est entraîné par l'iodate, lorsque celui-ci est obtenu à l'aide de cet azotate. Ce fait, du reste, n'a rien de surprenant : M. Maumené a constaté que l'oxalate d'argent, préparé à l'aide de l'azotate de ce métal, renferme également une partie de ce sel. D'ailleurs l'entraînement des azotates métalliques, tels que les azotates de baryum, de plomb, de ferricum, etc., est assez généralement connu.

Pour rendre évident l'entraînement de l'azotate d'argent par l'iodate, j'ai mêlé dans le rapport de leurs poids moléculaires des solutions d'iodate de potassium et d'azotate d'argent diluées à deux et demi pour cent. J'ai pris pour poids moléculaire de l'iodate de potassium 213,99 [1], et pour poids moléculaire de l'azotate d'argent 169,99 [1]. Les deux pesées ont été réduites au vide en admettant que 100,000 d'iodate de potassium pesé dans l'air représentent 100,030 dans le vide, et que la densité de l'azotate d'argent fondu est 5,380 d'après M. Marignac.

J'ai fait agiter pendant près d'une demi-heure le liquide avec l'iodate d'argent produit. Après le repos, j'ai décanté la liqueur limpide; l'acide sulfureux en a instantanément précipité une quantité sensible d'iode qui, redissous dans un excès d'acide sulfureux, a produit de l'iodure d'argent en présence des sels solubles de ce métal.

L'iodate formé a été lavé par décantation; après le lavage complet, *une moitié* environ a été séchée à 100°, et l'*autre moitié* a été délayée dans de l'eau bouillante renfermant un pour cent d'iodate de potassium. Le mélange a été

[1] D'après les poids atomiques inscrits dans le deuxième Mémoire, le poids moléculaire de l'iodate de potassium est égal à 213,987, et celui de l'azotate d'argent est 169,974. D'après cela, il y a eu un léger excès d'azotate d'argent employé. *Il est resté cependant de l'iodate de potassium non précipité.*

tenu pendant deux heures dans une douce ébullition. Au bout de ce temps, l'iodate, qui était devenu d'un blanc légèrement jaunâtre, de blanc pur qu'il était, a été lavé par décantation jusqu'à la disparition complète de l'iode et du potassium dans l'eau de lavage, et séché ensuite à 100°.

Ces deux iodates d'argent ne renfermaient pas de traces de potassium appréciables à l'analyse spectrale.

La première moitié de l'iodate, pesant 31^{gr},827, a été suspendue dans cinq cents centimètres cubes d'eau additionnés de trente centimètres cubes d'acide sulfurique pur.

Le mélange, placé dans un bain d'eau et de glace, a été soumis à un courant d'anhydride sulfureux, jusqu'à ce que le liquide eût répandu d'une manière permanente une odeur sensible d'anhydride sulfureux. Il a fourni un liquide laiteux qui, sous l'influence de l'agitation et d'une température de 65°, s'est complétement éclairci; il a exigé de 14 à 14,25 centimètres cubes de solution normale d'iode, pour se dépouiller de l'argent qu'il contenait à l'état de sulfate; ce qui porte la quantité d'argent non combiné à l'iode à 0,0439 sur 100,000 d'iodate.

La seconde moitié d'iodate d'argent qui a bouilli après le lavage avec l'iodate de potassium pesait 29^{gr},236; elle a été également suspendue dans cinq cents centimètres cubes d'eau acidulée par trente centimètres cubes d'acide sulfurique; le mélange, placé dans le même bain d'eau et de glace, a été soumis, dans des conditions absolument identiques, au courant d'anhydride sulfureux. La transformation en iodure étant accomplie, j'ai déterminé l'éclaircissement du liquide par l'agitation et par une élévation de température de 60°. Une partie du liquide limpide n'a point fourni le moindre trouble par l'addition de la solution normale d'iode dans l'acide sulfureux; une autre partie du liquide a perdu légèrement sa parfaite transparence par son contact avec la solution normale d'argent, preuve qu'elle contenait des traces d'acide iodhydrique.

Ce double contrôle démontre donc que l'azotate d'argent est entraîné avec de l'iodate de ce métal, lorsqu'on emploie une solution même diluée du premier sel pour produire le second. *Les conditions de formation de l'iodate d'ar-*

gent à l'aide de l'azotate de ce métal ne peuvent donc pas être considérées comme normales.

Les traces impondérables d'iode que j'ai découvertes dans le liquide de deux essais proviennent probablement de l'iodate de potassium, qui a été retenu par l'iodate d'argent malgré les lavages répétés et soigneux auxquels je les avais soumis, et dont je donne les détails dans une note séparée.

Les recherches minutieuses que je viens d'exposer ne me semblent laisser aucun doute sur le fait que l'iodate d'argent, produit dans les *conditions normales de sa formation*, peut être ramené à l'état d'iodure sans qu'une fraction, quelque minime qu'elle soit, de l'argent ou de l'iode, reste libre après sa transformation. Il en résulte donc que *le rapport en poids de l'argent à l'iode, dans l'iodate et dans l'iodure, est invariablement le même.*

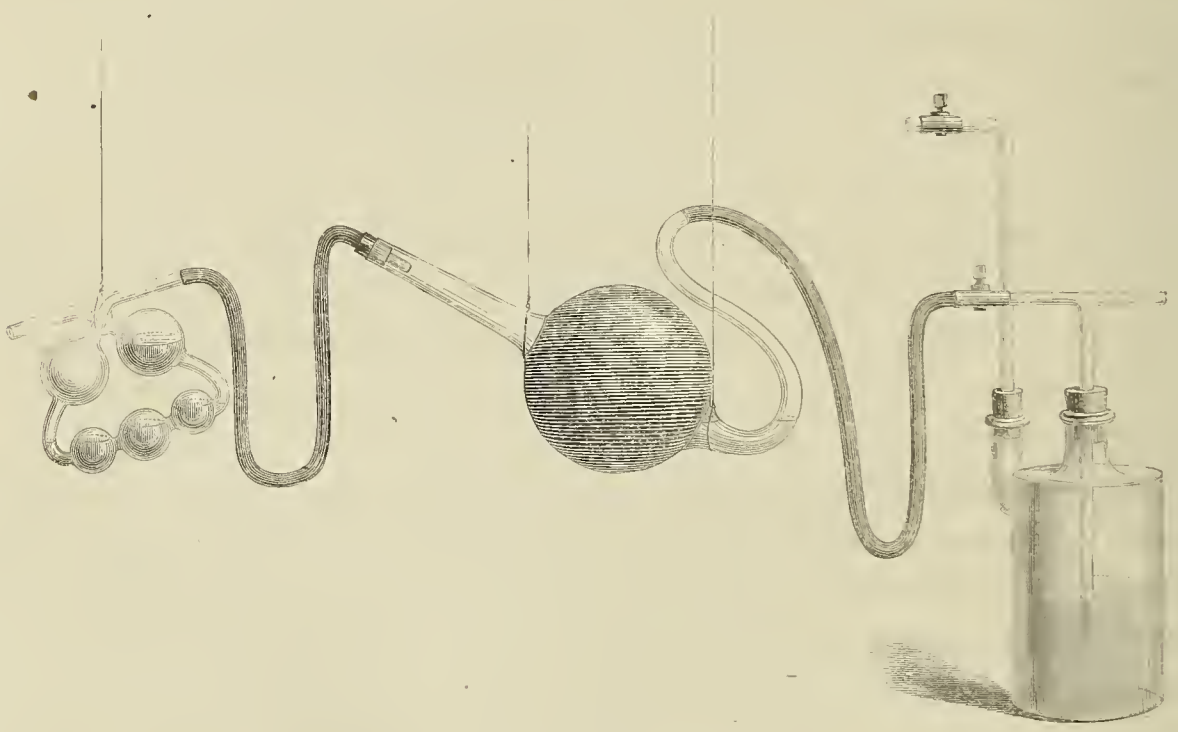
II. — Recherches sur la transformation du bromate d'argent en bromure, sous l'influence de l'acide sulfureux, faites dans le but de constater si le rapport du brome a l'argent est le même dans ces deux corps.

Un courant d'anhydride sulfureux, ou une solution d'acide sulfureux, transforme le bromate d'argent suspendu dans l'eau en bromure jaune pâle d'abord, et jaune foncé verdâtre ensuite. Dans des essais préliminaires, j'ai constaté que du *brome* peut devenir libre par une réaction secondaire. On conçoit, en effet, que l'acide sulfurique provenant de l'oxydation de l'acide sulfureux décompose du bromate d'argent, et que l'acide bromique, en présence de l'acide sulfureux, donne naissance à du brome, comme l'acide iodique produit de l'iode sous la même influence. La possibilité de la mise en liberté du brome m'a déterminé à prendre des dispositions particulières lors de la réduction du bromate d'argent en bromure. Ces dispositions ont été différentes, suivant que j'ai opéré à l'aide d'un courant d'anhydride sulfureux, ou d'une solution d'acide sulfureux, mais le principe a été le même. Il consiste à faire arriver l'anhydride sulfureux, ou la solution d'acide sul-

fureux, à la surface du liquide tenant le bromate en suspension, de manière à rendre sulfureuse l'atmosphère du vase dans lequel la réduction s'effectuait. En prenant cette précaution, je ne suis pas parvenu à découvrir une trace d'acide bromhydrique dans une solution d'acide sulfureux contenue dans un appareil de Liebig, adapté à l'appareil à réduction, et par lequel les gaz émanés de celui-ci devaient passer avant de se perdre dans l'air.

Lorsque j'ai eu recours au courant d'anhydride sulfureux, j'ai employé l'appareil dessiné ci-dessous.

Fig. 6.



Il consiste dans un ballon à deux pointes opposées. L'une de ces pointes, d'un diamètre étroit, redressée près de l'origine de la sphère, monte le long de celle-ci et se recourbe ensuite à angle droit, de manière à figurer un S. Au col du ballon j'adapte, à l'aide d'un bouchon en caoutchouc naturel, un tube recourbé en communication, par un tube de caoutchouc long et très-flexible, avec un appareil de Liebig contenant une solution d'acide sulfureux. A la partie recourbée à angle droit du tube en S, j'adapte un tube bien flexible de

caoutchouc, long de près d'un mètre, et dont l'autre bout communique avec un appareil destiné à fournir de l'anhydride sulfureux [1]. L'appareil à boule est suspendu par de longues cordes dans une position inclinée à 45 degrés; de cette manière, je puis lui faire subir un mouvement lent d'oscillation, pendant que l'anhydride sulfureux pénètre à la surface du liquide qui y est contenu. La boule de l'appareil est entourée d'une double toile noire, sur laquelle coule de l'eau glacée pendant tout le temps de la réduction. La réfrigération est indispensable, parce qu'il se développe notablement de chaleur par la réduction du bromate.

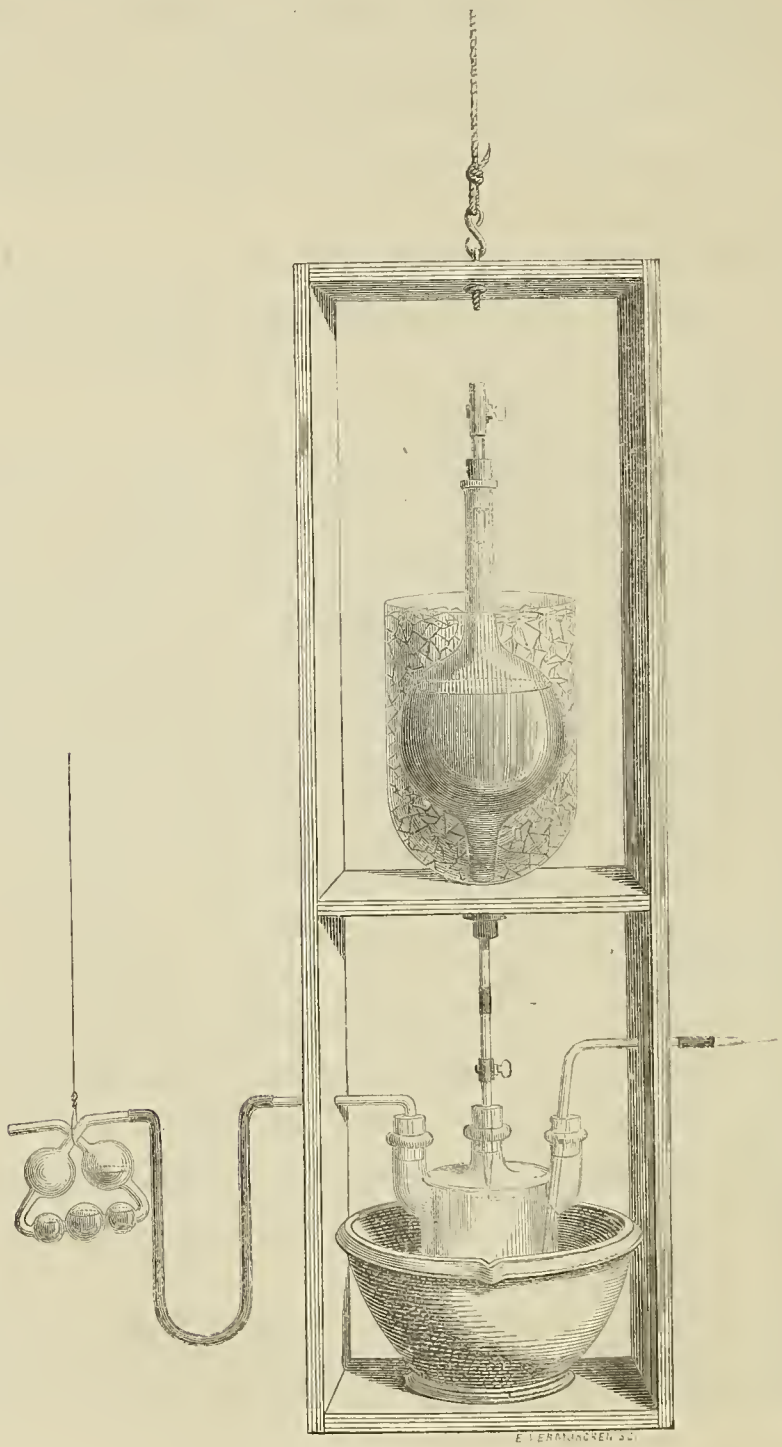
Tant qu'il y a du bromate non transformé en bromure, le courant d'anhydride sulfureux, qui afflue lentement, produit un nouveau trouble dans le liquide, qui s'éclaircit constamment sous l'influence de l'agitation, lorsqu'il reste de l'argent à l'état de bromate.

La cessation de la production de ce trouble est le signe certain que la réduction complète du bromate d'argent a eu lieu. Comme la toile noire n'enveloppe que le corps du ballon, et qu'une partie du liquide, continuellement en mouvement par l'agitation, se montre dans la courbure du tube en S, qui amène l'anhydride sulfureux, j'ai pu saisir exactement l'instant où l'opération était terminée pour interrompre le courant. L'excès d'anhydride sulfureux ne présente aucun inconvénient au point de vue du maintien de l'intégrité du bromure produit; mais comme cet anhydride jouit de la propriété de précipiter le sulfate d'argent au sein d'un liquide faiblement acidulé par l'acide sulfurique, le bromure retient du sulfite, si le bromate renferme de l'argent en dehors de celui qui peut former du bromure. Pour détruire ce sulfite et rendre l'argent soluble, il est nécessaire d'aciduler *très-fortement* le liquide à l'aide de l'acide sulfurique concentré, car les trois molécules de cet acide, qui ont pris naissance par l'oxydation de l'anhydride sulfureux, ne suffisent pas pour produire cet effet, à cause du grand volume d'eau que j'ai été obligé de prendre pour ne pas détruire l'acide bromique avec dégagement de brome.

[1] Voir à la fin du premier Mémoire la note n° 7 : *Sur la préparation de l'anhydride sulfureux employé pour la réduction de l'iodate, du bromate et du chlorate d'argent.*

Lorsque je me suis servi d'une solution titrée d'acide sulfureux, j'ai pris l'appareil figuré ci-dessous.

Fig. 7.



Il est formé par un flacon de Woulf à trois tubulures : sur l'une des tubulures est rodé un bouchon de verre percé, dans lequel s'engage à frottement un tube de verre à angle droit ; ce tube communique, à l'aide d'un tube de caoutchouc long et flexible, avec un appareil de Liebig contenant une solution d'acide sulfureux. Sur la tubulure du milieu est également rodé un bouchon en verre percé ; celui-ci livre passage à un tube dont le bout effilé pénètre de quelques centimètres dans un flacon de Woulf. La partie supérieure du tube, munie d'un robinet, est mise en communication, à l'aide d'un tube en caoutchouc, avec un réservoir destiné à contenir et à débiter lentement la solution titrée d'acide sulfureux. Ce réservoir se compose d'un ballon à deux pointes terminé en haut par un robinet. Enfin, la troisième tubulure du flacon est fermée par un bouchon troué livrant passage à un tube recourbé destiné à l'introduction de l'anhydride carbonique remplaçant l'air, afin de maintenir l'acide sulfureux intact.

Le flacon de Woulf est placé dans un vase de bois plein de glace concassée. Tout le système est fixé dans un étrier de bois librement suspendu, comme le montre la figure. Pendant tout le temps de l'écoulement de l'acide sulfureux, le système a été maintenu dans une oscillation permanente.

J'ai reconnu qu'en employant *un centième* environ d'acide sulfureux de plus qu'il n'est nécessaire pour la transformation complète du bromate en bromure, il faut, à la température 0°, de vingt à trente minutes d'agitation continue pour réduire de 20 à 25 grammes de bromate *cristallisé* suspendu dans un volume de liquide s'élevant de trois cents à cinq cents centimètres cubes.

Malgré l'agitation, le liquide n'est limpide qu'autant qu'il y ait encore du bromate non réduit. Lorsqu'il y a un *excès d'acide sulfureux*, quelque faible qu'il soit, la liqueur ne devient jamais complétement limpide à 0°. Pour l'éclaircir, il faut de toute nécessité élever la température, comme c'est le cas pour un liquide au sein duquel il s'est formé de l'iodure d'argent en présence de l'acide sulfureux.

On reconnaît du reste que *la réduction du bromate en bromure est complète lorsque quelques gouttes de solution d'acide sulfureux ne produisent plus de trouble d'un blanc jaunâtre dans le liquide qui surnage le bromure formé.*

1° *Bromate d'argent préparé par le bromate de potassium et l'azotate d'argent* [1].

Soixante-quinze grammes de bromate de potassium pur ont été dissous dans deux litres et demi d'eau distillée, et la solution a été précipitée à froid par soixante-dix grammes d'azotate d'argent fondu et dissous également dans deux litres et demi d'eau pure. Le bromate formé a été longtemps entretenu en suspension dans le liquide, puis abandonné au repos. Le sel a été lavé par décantation jusqu'à ce que le résidu de l'évaporation de l'eau de lavage ne contînt plus de potassium sensible à l'analyse spectrale.

a. 23^{gr},711 de bromate d'argent produit, préalablement séché à 100°, ont été introduits dans l'appareil figuré page 78, avec trois cents centimètres cubes d'eau. Lorsque le tout a été refroidi à 0°, j'ai fait arriver un courant lent d'anhydride sulfureux jusqu'à ce que le liquide cessât de se troubler. Quand la transformation du bromate en bromure a été effectuée, j'ai ajouté quinze centimètres cubes d'acide sulfurique au liquide, je l'ai maintenu encore pendant une dizaine de minutes en agitation, j'ai plongé alors l'appareil dans un bain d'eau, dont j'ai élevé la température jusqu'à ce que le liquide fût complétement éclairci. Ce phénomène s'est produit à 55°.

J'ai recherché ensuite la présence de l'argent ou du brome dans le liquide éclairci, et j'ai trouvé qu'il contenait de 0^{gr},0112 à 0^{gr},0115 d'argent; il m'a fallu en effet un volume de solution normale de brome dans l'acide sulfureux correspondant à ce poids d'argent, pour précipiter tout le métal qui y existait à l'état de sulfate.

Il y avait donc 0,0478 d'argent sur 100,000 de bromate qui n'ont point formé de bromure. La solution d'acide sulfureux dans l'appareil de Liebig ne contenait cependant aucune trace d'acide bromhydrique.

b. Une partie du bromate d'argent précédent a été dissoute dans de l'eau bouillante. La solution a été très-rapidement refroidie, afin d'obtenir du bromate en poussière cristalline impalpable.

[1] Ce bromate a été préparé avant que j'eusse connaissance de l'entraînement de l'azotate d'argent par l'iodate de ce métal, sans cela je n'aurais pas perdu mon temps à ces essais.

26^{gr},0775 de ce bromate cristallisé, lavé et préalablement séché à 100°, après avoir été additionnés de trois cent cinquante centimètres cubes d'eau, ont été transformés en bromure par un courant d'anhydride sulfureux, dans l'appareil figuré page 78, en mettant à l'opération tous les soins que je viens de décrire. Après la réduction du bromate, j'ai introduit dans l'appareil vingt centimètres cubes d'acide sulfurique pur, et j'ai soumis le mélange à une vive agitation pendant dix minutes. Au bout de ce temps, j'ai déterminé l'éclaircissement du liquide en le portant à 60°. Le liquide, devenu limpide, a exigé de 5,8 à 6,00 centimètres cubes de solution normale de brome dans l'acide sulfureux, pour se dépouiller complétement de l'argent qu'il contenait à l'état de sulfate; soit 0,0225 d'argent pour 100,000 de bromate au delà de ce qui est nécessaire pour faire du bromure. Cette quantité est la moitié de celle trouvée dans le sel avant d'être soumis à la cristallisation.

c. Le restant du bromate d'argent a été dissous dans de l'eau renfermant un millième de son poids de bromate de potassium. La solution a été très-rapidement refroidie pour obtenir le bromate sous forme de poussière impalpable, se prêtant ainsi convenablement à un lavage. Je l'ai lavé par décantation tant que j'ai pu découvrir, à l'aide du spectroscope, des traces de potassium dans le produit de l'évaporation des eaux de lavage jusqu'à siccité.

24^{gr},7475 de ce bromate, séché à 100°, absolument blanc et inaltérable à la lumière, ont été introduits, avec trois cents centimètres cubes d'eau, dans l'appareil figuré page 78, et transformés en bromure d'argent par un courant d'anhydride sulfureux. Après la réduction, j'ai ajouté vingt centimètres cubes d'acide sulfurique dans l'appareil, et j'ai soumis le tout à une vive agitation pendant une dizaine de minutes. Au bout de ce temps, j'ai déterminé l'éclaircissement du liquide par une élévation convenable de température. Essayé, il s'est trouvé *absolument* dépourvu d'argent dissous; il contenait, au contraire, des traces évidentes de brome, mais insuffisantes pour que la quantité pût en être déterminée [1].

Il en est donc du bromate d'argent comme de l'iodate de ce métal; il entraîne

[1] Je suis porté à croire que ce brome provenait du bromate de potassium retenu par les cristaux de bromate d'argent. Ce fait résulte de l'absence de brome dans le bromate d'argent, qu'on avait fait cristalliser deux fois, comme on le verra plus loin.

des quantités sensibles d'azotate d'argent, lorsqu'on le produit par double décomposition à l'aide de ce sel.

2° *Bromate d'argent par le bromate de potassium et le sulfate d'argent.*

Trente-cinq grammes de bromate de potassium dissous dans onze cents centimètres cubes d'eau bouillante ont été mêlés avec trente grammes de sulfate d'argent dissous dans trois litres d'eau bouillante. Le mélange a été refroidi le plus rapidement possible. Après le refroidissement, le bromate d'argent, en poussière cristalline impalpable, a été lavé à l'eau par décantation jusqu'à disparition du potassium dans le résidu des eaux de lavage évaporées.

a. 17^{gr},537 de bromate, séché à 100°, ont été introduits avec cent centimètres cubes d'eau dans l'appareil figuré page 80. L'air du flacon étant remplacé par de l'anhydride carbonique, le bromate a été réduit à l'aide d'une quantité convenable de solution titrée d'acide sulfureux. Après la transformation, j'ai ajouté lentement quinze centimètres cubes d'acide sulfurique au contenu du flacon, et j'ai imprimé une vive agitation au mélange pendant un quart d'heure. L'éclaircissement du liquide étant déterminé à l'aide d'une élévation de température, il a été reconnu *absolument* privé d'argent dissous; il renfermait en revanche entre 0^{gr},0005 et 0^{gr},001 de brome à l'état d'acide bromhydrique.

b. Le restant du bromate produit a été dissous dans de l'eau bouillante, et la solution a été refroidie le plus rapidement possible. Le sel déposé a été lavé convenablement par décantation. L'eau dans laquelle le bromate a été dissous et les eaux de lavage du sel cristallisé, ayant été évaporées, ont laissé un résidu dans lequel l'analyse spectrale a fait connaître la présence de traces de potassium; preuve évidente que le bromate, en cristallisant sous forme de poussière, a emprisonné de l'eau mère renfermant du potassium que les lavages n'ont pas été capables d'enlever. La présence de ce potassium m'a déterminé à redissoudre dans l'eau bouillante, et à *deux reprises* différentes, le bromate sur lequel j'ai opéré par la suite.

16^{gr},8025 de ce bromate recristallisé ont été réduits à l'état de bromure,

par la solution titrée d'acide sulfureux, dans l'appareil destiné à cet effet, en prenant tous les soins nécessaires. Après l'addition de l'acide sulfurique, l'agitation et l'éclaircissement opéré par la chaleur, le liquide, devenu limpide, ne renfermait *aucune* trace de sulfate d'argent ou d'acide bromhydrique capable d'être appréciée à l'aide de liqueurs normales.

c. Je n'ai considéré les expériences qui précèdent que comme des essais préliminaires aux recherches que je voulais entreprendre dans le but de m'assurer si le bromate, préparé dans *les conditions normales de sa formation*, peut être réduit à l'état de bromure sans mettre du brome ou de l'argent en liberté. Dans cette intention, j'ai tenté trois expériences sur une grande échelle, en les combinant de manière à les faire servir en même temps à *l'analyse* du bromate d'argent. De ces trois expériences, une a échoué pour un motif que je n'ai pas pu découvrir [1]; il s'était formé sensiblement du sulfure d'argent et de l'acide bromhydrique libre après la réduction. Des deux analyses restantes, l'une a été effectuée sur du bromate préparé à l'aide du sulfate d'argent, l'autre l'a été à l'aide du dithionate de ce métal.

Pour obtenir en grand le bromate d'argent à l'aide du sulfate, j'ai ajouté, à un *excès* de solution bouillante de bromate de potassium au dixième, une solution bouillante et saturée de sulfate d'argent produit par double décomposition [2].

Le bromate précipité, après avoir été lavé par décantation jusqu'à ce que les eaux de lavage, évaporées jusqu'à siccité, ne continssent plus de traces de potassium appréciables au spectroscope, a été dissous à deux reprises différentes dans de l'eau pure. A chaque cristallisation, j'ai déterminé le refroidissement rapide de la solution. L'eau mère de la première cristallisation a laissé, par l'évaporation, un résidu de bromate dans lequel le spectroscope a fait reconnaître la présence du potassium. L'évaporation de l'eau mère de la deuxième cristallisation a laissé un bromate dans lequel l'analyse spectrale a été impuissante pour constater l'existence de la moindre trace de potassium.

[1] Depuis l'exécution de ces travaux et la rédaction de cette notice, j'ai trouvé la cause de cet insuccès; elle réside dans l'altération de la solution d'acide sulfureux employée pour la réduction.

[2] Voir à la fin du premier Mémoire la note n° 10 : *Sur le sulfate et le bromate d'argent.*

86^{gr},6107 de bromate cristallisé deux fois et séché à 150° ont été fondus dans un grand ballon, dans lequel son poids a été vérifié. Dans la notice consacrée à l'analyse du bromate, j'exposerai le motif pour lequel j'ai été obligé de fondre ce sel. Après le refroidissement complet du ballon, j'ai repris le bromate, qui s'était transformé en un verre cristallin tout à fait incolore, par la plus petite quantité possible de *solution titrée* d'ammoniaque *pure*, capable de le dissoudre complétement. J'ai enveloppé le ballon d'une double toile noire, et je l'ai fixé à demeure dans une position de 45 degrés, au milieu de la glace concassée contenue dans un vase de bois placé sur la planchette d'un étrier oscillant identique à celui que j'ai figuré page 80, avec l'appareil à réduction du bromate à l'aide de la solution titrée d'acide sulfureux. J'ai muni le ballon incliné d'un bouchon de verre percé de deux trous; par l'un des trous passait un tube rodé et recourbé en communication avec un appareil de Liebig, contenant une solution de sulfite ammoniacal d'ammonium; l'autre trou était traversé par un tube à cylindre en S. Le bout du tube en S, qui pénétrait dans le ballon, était effilé et touchait le col de celui-ci, afin que le liquide qu'il devait laisser passer dût nécessairement couler le long de sa paroi et se répandre, par le mouvement d'oscillation, sur la surface interne du ballon. La partie du tube en S restée en dehors était mise, à l'aide d'un tube en caoutchouc, en communication avec un réservoir placé par dessus, et terminé par un robinet et un tube effilé. Ce réservoir était destiné à contenir et à débiter d'abord de l'acide sulfurique dilué et titré, et ensuite une solution titrée d'acide sulfureux. En somme, l'appareil employé pour la réduction du bromate était analogue à celui que j'ai figuré page 80. La seule différence qu'il présentât était le remplacement du flacon de Woulf, placé verticalement, par un ballon incliné à 45 degrés, et le remplacement du simple tube droit effilé, engagé dans la tubulure du milieu du flacon, par un tube en S.

Lorsque j'ai eu lieu de croire que la solution de bromate ammoniacal d'argent était à 0°, j'ai ouvert le robinet du réservoir supérieur et j'ai laissé couler, petit à petit, de l'acide sulfurique dilué au dixième et refroidi à 0°, en quantité exactement suffisante pour transformer l'ammoniaque titrée en sulfate biammonique.

Pendant l'écoulement de l'acide sulfurique dilué, j'ai fait imprimer un mouvement continu d'oscillation circulaire à tout le système. Lorsque tout le bromate dissous a été complétement précipité par la saturation de l'ammoniaque, j'ai introduit dans le réservoir un volume de solution d'acide sulfureux saturée à 0°, et en quantité supérieure d'un pour cent à celle nécessaire pour la réduction complète du bromate en bromure.

Pour maintenir l'acide sulfureux à 0°, le réservoir qui le contenait était entouré de glace.

L'appareil étant mis de nouveau en oscillation, j'ai laissé écouler la solution d'acide sulfureux; l'écoulement a duré soixante-quinze minutes environ. Au bout de ce temps, m'étant assuré, par l'introduction d'une petite quantité de solution diluée d'acide sulfureux, si tout le bromate était réduit, j'ai trouvé que le liquide glacé précipitait encore. J'ai donc été obligé de laisser pénétrer une nouvelle quantité de solution saturée à 0° d'acide sulfureux. La quantité totale que j'ai employée excède de cinq pour cent la quantité théoriquement nécessaire.

Je me suis assuré, par un essai fait avec les plus grands soins, qu'en opérant avec une solution diluée d'acide sulfureux, où les pertes en anhydride ne sont pas possibles, la réaction de cet acide sur le bromate d'argent se fait exactement dans les rapports moléculaires des deux corps, et est représentée par la formule

$$AgBrO^3 + 3(H^2SO^3) = AgBr + 3(H^2SO^4)$$

On s'explique du reste que, dans le maniement d'une solution saturée à 0° d'anhydride sulfureux, il doit nécessairement y avoir des pertes notables.

La réduction étant opérée, j'ai versé dans le réservoir un demi-litre d'eau distillée, additionnée de soixante-dix centimètres cubes d'acide sulfurique, et préalablement ramenée à 0° environ. Ayant ouvert convenablement le robinet, j'ai laissé écouler le liquide pendant qu'on imprimait un mouvement d'oscillation circulaire à l'étrier suspendu. L'écoulement de l'acide sulfurique dilué a duré un quart d'heure, et on a continué ensuite l'oscillation du système pendant trente minutes environ. Au bout de ce temps, on a enlevé autour

du ballon la glace qui n'avait pas été fondue, et on a remplacé l'eau à 0° par de l'eau à la température ordinaire, qu'on a laissée couler pendant une heure au moins, et enfin, pour déterminer l'éclaircissement complet du liquide, on a plongé le ballon, avec sa double enveloppe, dans un bain dont on a élevé lentement la température. A 68°, le liquide est devenu d'une limpidité absolue. Après avoir laissé reposer le liquide pendant six heures dans ce bain chaud, j'ai enlevé le bouchon du ballon, et j'ai procédé à la recherche du brome dans la solution de sulfite ammoniacal d'ammonium contenue dans l'appareil de Liebig, et du brome ou de l'argent dans le liquide du ballon.

A cet effet, le contenu de l'appareil de Liebig a été versé dans cinq fois son volume d'acide sulfurique dilué au cinquième. Une quantité de solution normale de sulfate d'argent, variant depuis *un* jusqu'à *dix* centimètres cubes, ayant été successivement ajoutée au mélange, n'y a produit absolument aucun trouble, même après une heure de contact. Il ne s'est donc dégagé du ballon aucune trace de brome, ni avant, ni pendant, ni après la réduction du bromate.

Cinq cents centimètres cubes du liquide acide du ballon, qui exhalait une odeur à peine sensible d'anhydride sulfureux, ont été additionnés successivement de *un* jusqu'à *cinq* centimètres cubes de solution normale de sulfate d'argent, et il ne s'est pas produit le moindre trouble de bromure d'argent.

Cinq cents centimètres cubes du liquide acide du ballon ont reçu successivement depuis *un* jusqu'à *cinq* centimètres cubes de solution normale de brome dans l'acide sulfureux; au bout d'un quart d'heure, le liquide a perdu sa limpidité absolue, mais le trouble qui s'est produit a été trop faible pour qu'il m'ait été possible de déterminer la quantité d'argent qu'il représentait. *J'ose affirmer que cette quantité ne correspondait pas à un centième de milligramme d'argent.*

3° *Bromate d'argent préparé par le bromate de potassium et le dithionate d'argent.*

Un excès de solution refroidie à 0° de bromate de potassium, renfermant cinq pour cent de ce sel, a été précipité par une solution également refroidie à 0° de dithionate d'argent, contenant cinq pour cent de ce sel. Après vingt-quatre heures de dépôt, le liquide a été transvasé, et le bromate d'argent, tout à fait blanc, a été lavé à froid par décantation, jusqu'à ce que la présence du potassium ne fût plus reconnaissable, à l'analyse spectrale, dans le produit de l'évaporation à siccité des eaux de lavage.

Quatorze litres d'eau bouillante et *pure* ont été saturés ensuite par le sel lavé. Le bromate tout à fait blanc qui s'est déposé par le refroidissement lent du liquide *limpide* et *incolore*, après avoir été lavé de nouveau, a été dissous une deuxième fois dans de l'eau bouillante. Cette fois-ci, j'ai déterminé le refroidissement rapide du liquide, resté absolument incolore et limpide, pour obtenir le sel à l'état de poussière cristalline impalpable, retenant par conséquent le moins possible d'eau mère.

L'eau mère de la première cristallisation, évaporée jusqu'à siccité, a laissé un bromate contenant du potassium sensible à l'analyse spectrale. L'eau mère de la deuxième cristallisation, évaporée jusqu'à siccité, a fourni un bromate dans lequel l'analyse spectrale a été impuissante à déceler la présence du potassium.

$102^{gr},0265$ de ce bromate cristallisé *deux* fois, et préalablement chauffé à 150°, ont été fondus dans le ballon employé pour la précédente expérience. Après le refroidissement du ballon, le bromate, qui était en masse cristalline blanche et rayonnée, a été dissous dans la plus petite quantité possible d'ammoniaque liquide pure et titrée, après que le ballon eut été enveloppé d'une double toile noire. La solution ammoniacale qui y était contenue a été saturée à 0° par de l'acide sulfurique dilué et titré, et le bromate reproduit a été transformé en bromure par les moyens que j'ai assez longuement exposés dans la relation que j'ai donnée de la précédente expérience. J'ai pris à cet effet toutes les dispositions indiquées, et j'y ai mis absolument les mêmes soins.

La réduction opérée, le mélange a reçu lentement un demi-litre d'eau acidulée par cent centimètres cubes d'acide sulfurique pur; il a été soumis ensuite à une agitation continue pendant une heure et demie. Enfin j'ai déterminé l'éclaircissement du liquide en élevant suffisamment sa température, comme je l'ai expliqué déjà.

La liqueur acide au sein de laquelle la transformation du bromate en bromure a été effectuée, et dont le volume était de près de cinq litres, essayée avec toutes les précautions imaginables, a été reconnue *absolument exempte de brome ou d'argent dissous.*

La solution de sulfite ammoniacal d'ammonium, contenue dans l'appareil de Liebig, au travers de laquelle ont passé tous les gaz émanés du ballon pendant la neutralisation de l'ammoniaque par l'acide sulfurique dilué, pendant la réduction du bromate en bromure par l'acide sulfureux, et enfin pendant l'acidulation du liquide par l'acide sulfurique, essayée également, a été reconnue complétement exempte de brome.

Il est donc établi que le bromate d'argent, préparé dans les *conditions normales de sa formation,* peut être ramené à l'état de bromure sans qu'une fraction quelconque de brome ou d'argent devienne libre. *Le rapport en poids du brome à l'argent, dans le bromate et dans le bromure, est donc absolument le même.*

III. — Recherches sur la transformation du chlorate d'argent en chlorure, sous l'influence de l'acide sulfureux, faites dans le but de constater si le rapport en poids du chlore a l'argent est le même dans ces deux corps.

J'ai entrepris ces recherches dans le double but de soumettre à l'expérience la loi des proportions définies, et de faire l'analyse du chlorate d'argent pour pouvoir déduire le poids atomique de ses éléments.

J'ai fait deux séries de recherches : l'une avec le chlorate préparé à l'aide de l'action du chlore sur le carbonate d'argent, et l'autre à l'aide de l'action du chlore sur l'oxyde d'argent. Je vais exposer dans cette notice tous les faits relatifs à la préparation du chlorate, à sa transformation en chlorure, et

les résultats obtenus quant à la loi des proportions définies, réservant pour la notice consacrée à l'analyse du chlorate d'argent toutes les données numériques qui se rapportent exclusivement à ce dernier sujet.

On a pu se convaincre, par la lecture de ce travail, des obstacles contre lesquels j'ai eu à lutter pour me procurer de l'iodate et du bromate d'argent purs; mais ils ne sont rien en comparaison de ceux que j'ai rencontrés pour la préparation du chlorate pur de ce métal. J'ajouterai que, pour s'en faire une idée, il faut avoir été soi-même aux prises avec ces difficultés.

Des insuccès réitérés, dont il est inutile de rendre compte ici, m'ont donné la certitude que le moyen de la cristallisation répétée du chlorate, obtenue à l'aide de l'oxyde ou du carbonate d'argent *lavé à l'eau*, et de l'acide chlorique retiré du chlorate de baryum pur par l'acide sulfurique dilué, est impuissant pour obtenir un sel susceptible de se prêter à une épreuve aussi rigoureuse que celle qu'il était destiné à subir. Il n'y a qu'une méthode excluant la possibilité de l'existence de matières étrangères aux éléments du sel qui soit capable de le fournir, et je n'ai pu trouver ce moyen que dans l'action du chlore sur le carbonate et l'oxyde d'argent dépouillés, à l'aide du chlore lui-même, de l'*alcali* qu'ils ne cèdent *jamais* au lavage à l'eau seule.

On conçoit, en effet, qu'en faisant réagir, sous l'influence de l'eau, le chlore sur l'oxyde ou le carbonate d'argent lavé aussi bien que possible, le corps halogène doit se porter à la fois sur l'argent et sur le métal alcalin retenu, de manière à produire un sel haloïde d'argent et un mélange de sel amphide du métal alcalin et d'argent. Du moment qu'il existe un sel amphide d'argent en solution, il n'y a plus de raison pour que le sel amphide du métal alcalin contenu dans l'oxyde soit retenu par ce dernier; un lavage à l'eau peut donc l'enlever. En répétant successivement l'action ménagée du chlore et les lavages, il faut de toute nécessité qu'il arrive un instant où il n'existe plus de trace de l'alcali dans le composé argentifère soumis à la purification.

L'expérience a complétement confirmé ces prévisions. Restaient maintenant à étudier les conditions de la formation du chlorate d'argent à l'exclusion absolue de la production du perchlorate. M. Marignac a préparé une grande quantité de ce sel, mais il n'a donné aucun détail sur les conditions dans lesquelles il s'est placé.

Pour résoudre ce problème, j'ai examiné avec beaucoup de soin l'action du chlore sur l'oxyde et sur le carbonate d'argent suspendu dans de l'eau, et voici les observations que j'ai été à même de faire :

De l'action du chlore sur l'oxyde et sur le carbonate d'argent.

Si l'on vient à délayer, dans un *excès* d'eau de chlore saturée, de l'oxyde et du carbonate d'argent suspendu dans de l'eau, l'argent se transforme complétement en chlorure, comme c'est le cas pour l'oxyde et le carbonate de mercure, et l'eau ne renferme, outre l'excès de chlore, que de l'acide hypochloreux pur, sans trace d'acide chlorique ou d'acide perchlorique. Le titre chlorométrique du liquide, après la réaction du chlore sur l'oxyde ou le carbonate, est à peu de chose près identique à celui de l'eau de chlore employée.

En faisant arriver, *sous l'influence d'une agitation continue,* un courant lent de chlore dans de l'eau renfermant un *excès* d'oxyde ou de carbonate d'argent en suspension, l'action première est identique; il se produit encore du chlorure d'argent et de l'acide hypochloreux; mais cet acide hypochloreux ne reste que momentanément libre; il transforme *lentement* une partie de l'oxyde ou du carbonate en hypochlorite de ce métal. En effet, au bout de peu de temps, si l'on interrompt le courant de chlore, tout en maintenant l'agitation, le liquide perd l'odeur caractéristique de l'acide hypochloreux; mais il en conserve le pouvoir décolorant énergique, parce que l'hypochlorite d'argent formé est très-soluble dans l'eau.

Cet *hypochlorite d'argent,* dont à ma connaissance aucun chimiste n'a encore signalé l'existence, est un corps assez stable en présence d'un excès d'oxyde ou de carbonate d'argent, pour se conserver pendant plusieurs jours; il est au contraire d'une instabilité extrême en l'absence de cet oxyde ou carbonate métallique. En effet, il m'a semblé que tant qu'on maintient en mouvement la solution d'hypochlorite d'argent avec l'oxyde, le liquide conserve sa *transparence* et son pouvoir décolorant; si, au contraire, on vient à l'abandonner au repos, à peine l'oxyde d'argent s'est-il déposé, que la liqueur si limpide devient à l'instant même opaline, se trouble fortement et finit par déposer de gros flocons de chlorure d'argent, qui couvrent d'un tapis blanc

l'oxyde d'argent primitivement déposé. Le liquide perd en même temps son pouvoir décolorant, et ne renferme que du chlorate d'argent en solution, rendu alcalin par un petit excès d'oxyde dissous.

D'après ce que je viens d'exposer, on voit donc que la formation du chlorate d'argent par l'action du chlore sur l'oxyde ou le carbonate est due à une réaction secondaire de l'hypochlorite de ce métal, qui prend naissance préalablement. Il paraît, du reste, qu'il en est ainsi de la formation de tous les autres chlorates; mais ce n'est pas ici le lieu d'examiner cette question.

Les réactions qui se passent successivement peuvent se représenter par les équations suivantes :

$$12\ (Ch) + 3\ (Ag^2O) + 3\ (H^2O) = 6\ (AgCh) + 6\ (HChO).$$
$$6\ (HChO) + 3\ (Ag^2O) = 3\ (H^2O) + 6\ (AgChO).$$
$$6\ (AgChO) = 4\ (AgCh) + 2\ (AgChO^3).$$

Je viens de dire que l'hypochlorite argentique est très-soluble dans l'eau; en effet, le liquide limpide contenant l'oxyde ou le carbonate d'argent en suspension, et qu'un courant lent de chlore a traversé pendant quelques heures, renferme considérablement d'hypochlorite qui se maintient intact tant qu'il est en contact avec l'oxyde ou le carbonate; mais l'excès d'oxyde ou de carbonate employé, et *surtout l'excès d'oxyde d'argent*, fixent sur eux une grande quantité de cet hypochlorite, *ou du moins les éléments de ce sel*. La fixation de cet hypochlorite sur ces composés d'argent à l'état de corps excessivement peu solubles, résulte de deux faits que j'ai observés les quatre fois que j'ai produit du chlorate par l'action du chlore sur le carbonate et l'oxyde d'argent. Le premier de ces faits est l'impossibilité d'opérer un lavage de ces corps sur lesquels on a fait agir du chlore pendant un certain temps. Quelques soins qu'on y mette, de quelque manière qu'on s'y prenne, l'eau enlève, outre l'oxyde ou le carbonate, un sel d'argent renfermant du chlore et de l'oxygène; le second fait est que l'oxyde ou le carbonate sur lequel le chlore a agi longtemps déjà en produisant de l'hypochlorite dissous et qu'on a enlevé, fournit par l'action du chlore une nouvelle quantité d'hypochlorite beaucoup plus considérable que celle qui peut résulter du chlore que l'on a fait réagir en dernier lieu. L'observation m'a même prouvé que la plus grande produc-

tion d'hypochlorite à l'état soluble arrive lorsque les deux tiers de l'oxyde ou du carbonate ont déjà subi l'action décomposante du chlore.

L'hypochlorite d'argent est le seul sel d'argent qui prenne naissance sous l'influence du chlore sur l'oxyde ou le carbonate d'argent *en excès* suspendu dans un liquide entretenu dans un *mouvement continu*. La décomposition spontanée, ou la décomposition opérée à l'aide de l'intervention de la chaleur, n'a jamais produit la moindre trace de perchlorate, en opérant, bien entendu, sur un hypochlorite rendu légèrement alcalin par un excès d'oxyde dissous. Pendant l'afflux du chlore, l'hypochlorite qui s'est formé peut être détruit de nouveau avec formation de chlorure d'argent; mais c'est encore de l'acide hypochloreux qui prend naissance dans cette circonstance : en réagissant sur une nouvelle quantité d'oxyde d'argent, il reproduit un poids double d'hypochlorite de ce métal.

Les conditions de préparation du chlorate d'argent, résultant des observations précédentes, sont donc : un courant *lent* de chlore sur l'oxyde ou le carbonate (traité préalablement au chlore pour lui enlever l'alcali qu'il retient) suspendu dans de l'eau maintenue en mouvement, d'une manière permanente, jusqu'à ce que le chlore ait attaqué la majeure partie du composé argentifère employé; maintien de ce mouvement après l'interruption du courant de chlore, afin de transformer en hypochlorite l'acide hypochloreux existant libre dans le liquide; séparation de la solution de l'hypochlorite d'argent d'avec l'excès du composé argentifère employé, pour que l'hypochlorite puisse spontanément se transformer en chlorure et en chlorate.

Voici les dispositions que j'ai prises pour réaliser, autant que la prévoyance le permet, les conditions que je viens d'indiquer.

1° *Chlorate d'argent préparé par l'action du chlore sur le carbonate d'argent suspendu dans l'eau.*

Trois kilogrammes neuf cent trente-cinq grammes d'azotate d'argent, sans métaux étrangers, ont été dissous dans *vingt litres* d'eau distillée; la solution a été versée petit à petit dans un volume égal de solution de carbonate de potassium préparé à l'aide de la crème de tartre *pure*. Le carbonate d'ar-

gent, très-volumineux et d'un blanc légèrement jaunâtre, après avoir été tenu longtemps en suspension dans la solution de carbonate de potassium en excès, a été lavé à froid par décantation, jusqu'à la disparition complète du potassium, dans le produit de l'évaporation, jusqu'à siccité, des eaux de lavage. Pour arriver à ce résultat, j'ai été obligé chaque fois de faire secouer, dans un vase fermé, le carbonate avec de l'eau, comme s'il s'agissait de produire l'éclaircissement d'un essai d'argent. En prenant ces précautions, les lavages ont duré quinze jours, en les répétant plusieurs fois dans une journée.

La bouillie assez liquide de carbonate d'argent qui, de *blanc jaunâtre* qu'elle était primitivement, était devenue d'un *beau jaune*, a été introduite dans un ballon de 45 litres de capacité, qui était entouré d'une toile noire. Ce ballon a été fixé solidement dans un panier placé sur le plancher d'une espèce d'étrier suspendu au-dessus du sol à l'aide de longues cordes. A chaque côté et au bas de cet étrier était attachée une corde; en exerçant alternativement une traction à l'aide de ces cordes, on pouvait imprimer au ballon un mouvement oscillatoire aussi prononcé qu'on le voulait. Au col du ballon était adapté un verre percé de deux trous et servant de bouchon. Ces deux trous donnaient passage, l'un à un tube de verre recourbé à angle droit, amenant du chlore dans le liquide; l'autre à un tube de verre, également recourbé, servant au dégagement de l'anhydride carbonique mis en liberté par la décomposition du carbonate d'argent. Le tube destiné à amener le chlore dans le liquide du ballon a été mis en communication avec un appareil à chlore, à l'aide d'un tube en caoutchouc [1] assez long pour permettre l'oscillation facile du système sans exercer une traction sur l'appareil à chlore.

Le système étant ainsi disposé, j'ai laissé pénétrer pendant cinq quarts d'heure un courant *très-lent* de chlore [2] dans le ballon, en lui faisant imprimer pendant ce temps un mouvement continu. J'ai alors intercepté le courant de chlore, et j'ai fait continuer l'agitation du liquide tant qu'il a

[1] Le tube en caoutchouc vulcanisé avait bouilli pendant une heure avec une solution au dixième d'hydrate de sodium pour le désulfurer, et avait été lavé ensuite à l'eau pure.

[2] Le bioxyde de manganèse, employé à la préparation du chlore, après avoir été finement pulvérisé, a été traité à l'acide sulfurique dilué et bouillant, afin de le dépouiller complétement des composés azotés qu'il renferme toujours; il a été lavé ensuite à l'eau pure. Ce traitement est indispensable lorsqu'on veut obtenir du chlore absolument privé de chlorure d'azotyle.

exhalé la moindre odeur d'acide hypochloreux. Ce résultat atteint, j'ai abandonné le système au repos, et j'ai décanté tout le liquide surnageant, qui était fortement décolorant. On a soumis à un nouveau lavage par décantation le carbonate d'argent, en ajoutant le premier liquide de décantation à la solution d'hypochlorite séparée déjà. On a lavé le carbonate d'argent tant qu'il a été possible de découvrir, à l'aide de l'analyse spectrale, des traces de potassium dans le produit de l'évaporation, jusqu'à siccité, des eaux de lavage.

La solution d'hypochlorite d'argent, après avoir été conservée à l'abri de la lumière jusqu'à ce qu'elle eût cessé de déposer du chlorure d'argent, a été évaporée jusqu'à siccité; elle a laissé $31^{gr},819$ de résidu blanc salin.

Le carbonate d'argent lavé, et en bouillie assez liquide, a été introduit avec quatre litres d'eau dans le ballon, et soumis pendant deux heures à un courant de chlore sous l'influence d'une agitation incessante; après avoir intercepté le courant de chlore, on a continué l'agitation tant que le mélange a exhalé une odeur d'acide hypochloreux. Il a fourni par décantation cinq litres de solution fortement décolorante, qui a été abandonnée dans l'obscurité à la décomposition spontanée. Le liquide, après avoir cessé de déposer du chlorure, a laissé par l'évaporation $58^{gr},237$ de chlorate d'argent.

Le carbonate d'argent a été lavé une troisième fois. Déjà, dans la première eau du lavage, il m'avait été impossible de découvrir la moindre trace de potassium, à l'aide de l'analyse spectrale, en opérant sur le résidu de l'évaporation de tout un litre de liquide.

J'ai délayé le carbonate d'argent dans un volume d'eau égal à celui du liquide décanté, et j'ai soumis pendant trois heures le mélange à un courant non interrompu de chlore, sous l'influence d'une agitation continuelle. Après l'interruption du courant, le mélange a été maintenu en mouvement une demi-heure; décanté ensuite, le liquide limpide et incolore ne répandait pas la moindre odeur d'acide hypochloreux, mais il était très-fortement décolorant. Par le repos, il a déposé considérablement de chlorure d'argent; il a fourni par son évaporation $72^{gr},000$ de chlorate d'argent.

Enfin, le carbonate d'argent, mêlé déjà d'une quantité considérable de chlorure d'argent, a été lavé une quatrième fois. Délayé dans six litres d'eau pure, il a été soumis pendant cinq heures, dans le ballon oscillant, à un cou-

rant continu de chlore. L'acide hypochloreux produit, étant transformé en hypochlorite d'argent par l'agitation du liquide avec l'excès de carbonate d'argent restant, j'ai abandonné le mélange à lui-même jusqu'à ce que tout l'hypochlorite fût converti en chlorate et chlorure. L'évaporation du liquide retiré du ballon par décantation et lavage méthodique a produit cent vingt-trois grammes de chlorate d'argent.

J'ai arrêté là l'action du chlore sur le carbonate d'argent, parce que ce composé avait tellement blanchi par son mélange avec le chlorure, qu'il m'était impossible à la vue d'y distinguer la présence de ce corps. Du reste, au moment où j'ai interrompu l'opération, l'évaporation de tous les liquides décantés n'était pas achevée, de manière que je ne pouvais connaître le poids du chlorate formé. En supposant que j'eusse épuisé l'action du chlore, j'aurais dû obtenir sept cents grammes de chlorate, et la somme des poids des sels résultant de l'évaporation des quatre liquides successivement décantés ne représente que deux cent quatre-vingt-cinq grammes. Je n'ai en réalité produit que les deux cinquièmes de ce que je pouvais préparer; je suis donc resté dans les conditions nécessaires pour ne produire aucune trace de perchlorate d'argent. Les chlorates obtenus dans les opérations que je viens de décrire ont été soumis aux traitements suivants :

Une partie des $31^{gr},819$ de chlorate résultant de la première opération, ayant été examinée au spectroscope, a été reconnue mêlée de beaucoup de chlorate de potassium. Je me suis donc abstenu de le purifier pour le soumettre à la réduction par l'acide sulfureux.

Les $58^{gr},237$ de chlorate, dans la deuxième opération, ont été repris par de l'eau froide. La solution en était très-légèrement alcaline. J'y ai ajouté de l'eau de chlore diluée, de manière à faire disparaître la réaction alcaline, et j'ai porté le liquide à l'ébullition, afin de déterminer la précipitation des traces de chlorure d'argent qui s'étaient produites. Le liquide décanté, parfaitement neutre, a été évaporé et ramené par des cristallisations successives en trois parties; chacune d'elles a été réduite séparément par l'acide sulfureux à l'état de chlorure.

J'ai dû absolument opérer cette réduction à l'aide d'une solution d'acide sulfureux. En effet, un courant d'anhydride sulfureux précipite du sulfite

d'argent d'une solution de chlorate de ce métal; de l'acide chlorique se dissout dans le liquide. Ce sulfite d'argent ne passe à l'état de chlorure que par l'action consécutive de l'anhydride sulfureux sur l'acide chlorique. Or, pendant le passage du gaz, il n'y a aucun moyen de s'assurer si la réduction de l'acide chlorique est partielle ou totale, s'il y a défaut ou excès d'acide sulfureux, et quel est cet excès. Une autre difficulté réside dans la lenteur relative avec laquelle l'acide sulfureux réduit à 0° l'acide chlorique très-dilué, et cependant une *basse température et une dilution assez forte du liquide sont des conditions indispensables pour la réussite de l'opération*. A l'exception d'une opération qui m'a donné beaucoup de peine, j'ai donc pratiqué toutes les réductions du chlorate d'argent décrites dans cette notice à l'aide d'une solution titrée d'acide sulfureux. J'ai employé à cet effet l'appareil que j'ai figuré et décrit pages 80 et suivantes. Seulement, comme la réduction exige plus de temps à s'accomplir, l'appareil a toujours été maintenu au moins une heure en mouvement.

Je reviens maintenant aux trois portions de chlorate extraites des 58^{gr},237 du sel obtenu dans la deuxième opération. La première partie, contenant les sels les moins solubles, renfermait encore sensiblement de potassium; je suis parvenu à le reconnaître au spectroscope. J'ai perdu la deuxième partie en essayant d'en faire la réduction à l'aide d'un courant d'anhydride sulfureux; la troisième partie, pesant 23^{gr},932, réduite par une solution titrée d'acide sulfureux à 0°, n'a plus exigé que 0^{gr},003 d'argent à l'état de sulfate, pour précipiter l'acide chlorhydrique que contenait le liquide éclairci par simple agitation.

Les 72^{gr},000 de chlorate d'argent produit dans la troisième opération ont été repris par de l'eau froide. La solution en était opaline et sensiblement alcaline. J'y ai ajouté, avec les plus grandes précautions, de l'eau de chlore diluée, jusqu'à la disparition complète de la réaction alcaline. J'ai chauffé le liquide pour l'éclaircir par la précipitation du chlorure d'argent formé, et j'ai évaporé au bain-marie jusqu'à pellicule le liquide limpide décanté. Afin d'obtenir le chlorate sous forme de très-petits cristaux, j'ai provoqué un refroidissement brusque du liquide. L'eau mère a été séparée par aspiration. Le chlorate a été lavé à trois reprises par de l'eau glacée. La dessiccation sur

l'acide sulfurique du sel lavé a produit 40^{gr},336 de chlorate blanc et *inaltérable à la lumière*. Les eaux de lavage et l'eau mère ont fourni 27^{gr},581 de sel également blanc, inaltérable à la lumière, mais extraordinairement altérable par son exposition à l'air.

a. J'ai introduit les 27^{gr},581 de chlorate dans l'appareil à réduction par l'acide sulfureux liquide, avec cent centimètres cubes d'eau distillée, et lorsque la solution était à 0°, je l'ai transformée en chlorure à l'aide d'une quantité convenable de solution d'acide sulfureux, également à 0°. Lorsque tout l'acide sulfureux eut coulé dans le flacon, et qu'on eut maintenu l'appareil une heure en oscillation, je me suis assuré, par l'addition d'une petite quantité d'acide sulfureux, si la réduction de l'acide chlorique était complète. A la fin de l'opération, l'acide sulfurique produit amène à l'état de solution une partie du sulfite d'argent, s'il en existe encore, et une addition d'acide sulfureux, dans ce cas, produit instantanément un trouble blanc, s'il y a encore en même temps de l'acide chlorique. Ayant reconnu l'achèvement de la réduction, je suis allé à la recherche du chlore ou de l'argent dans le liquide qui s'était éclairci par le simple mouvement. Or, une partie du liquide ne s'est point troublée par une solution normale de sulfate d'argent, et une autre partie ne s'est point troublée par une solution normale d'iode dans l'acide sulfureux. Décanté et évaporé jusqu'à la volatilisation de l'acide sulfurique, le liquide restant n'a laissé aucune trace de potassium sensible à l'analyse spectrale.

Le chlorure d'argent a été mis en digestion à 100° avec de l'acide azotique dilué au cinquième; il n'a cédé absolument aucune trace d'argent appréciable à la liqueur normale de chlorure de sodium. Le chlorate d'argent s'est donc transformé en chlorure sans que la moindre trace de chlore ou d'argent soit devenue libre.

b. Enfin, les 40^{gr},336 de chlorate non employé ont été ajoutés au sel que j'ai retiré des 123^{gr},500 de chlorate obtenu dans la quatrième opération. Dans le but de le priver du perchlorate que, contre toute attente, il aurait pu contenir, je l'ai soumis au traitement suivant :

Il a été repris par de l'eau froide, et la solution a été additionnée d'eau de chlore diluée, jusqu'à ce que la très-légère réaction alcaline qu'elle présentait

eût complétement disparu. Le liquide a été porté à 100° pour déterminer la précipitation des traces de chlorure d'argent qui avaient pris naissance; après un repos convenable, il a été décanté et évaporé au bain-marie jusqu'à pellicule. Par un refroidissement brusque, j'ai déterminé la cristallisation rapide du sel, et après avoir enlevé par aspiration l'eau mère, je l'ai lavé par de l'eau glacée, et également par aspiration. L'eau mère et la première eau de lavage ont été écartées. Toutes les autres eaux de lavage ont été évaporées à leur tour jusqu'à pellicule, et la solution brusquement refroidie. L'eau mère a été séparée de nouveau par aspiration, et le sel lavé à l'eau glacée. En répétant ainsi les cristallisations, les lavages et les évaporations, je suis parvenu à retirer des $123^{gr},500$ de sel, $99^{gr},000$ environ de chlorate, que je pouvais considérer comme aussi pur qu'il m'était possible de le préparer.

Les eaux mères, que j'avais éloignées avec le plus grand soin, ont donné jusqu'à la dernière trace du chlorate pur. Du reste, lors de la production de l'hypochlorite qui, par sa décomposition, m'a fourni ce chlorate, l'action du chlore a été très-lente et, comme on l'a vu, l'excès de carbonate d'argent fort grand. Je considère, du reste, la préparation du chlorate d'argent par cette voie comme l'opération la plus laborieuse et la plus délicate qu'on puisse exécuter dans des recherches analytiques.

J'ai employé à la fois les $99^{gr},000$ et les $40^{gr},336$, provenant de l'opération précédente, pour faire l'analyse de ce sel, et pour rechercher en même temps si le chlore et l'argent sont dans le chlorate et dans le chlorure absolument dans le même rapport. Je vais indiquer ici les données relatives à cette dernière recherche.

J'ai introduit dans un grand ballon le chlorate d'argent séché préalablement à 150° dans de l'air sec, privé de matières organiques par son passage sur de l'oxyde de cuivre chauffé au rouge. Ce ballon de verre dur était muni d'un flacon de verre bouché à l'émeri dont le fond était percé; ce flacon était rodé sur le col du ballon; le système a été pesé exactement, ayant pour contre-poids un ballon de même verre, de même dimension et de même poids. J'ai *fondu* le sel en prenant toutes les précautions imaginables pour éviter sa décomposition par la chaleur. Je m'expliquerai sur le motif de cette fusion dans la notice consacrée à l'*analyse* du chlorate, avec toutes les don-

nées numériques qui s'y rapportent. On le verra plus loin, le ballon contenait un poids *invariable* de 138^{gr},749 de chlorate fondu et pesé dans l'air *sec*. Après le refroidissement du ballon, j'y ai introduit deux litres d'eau pure. Le chlorate, en s'y dissolvant, a rendu l'eau très-opaline; *un litre d'eau, ajouté à la solution, n'a point augmenté le trouble du liquide*. J'ai chauffé la solution jusqu'à 80°, température à laquelle elle est devenue limpide en laissant déposer quelques flocons *violacés* de chlorure d'argent. J'ai imprimé un mouvement de rotation au ballon, afin d'amener vers son centre et vers le fond tout le chlorure, et je l'ai abandonné de nouveau au refroidissement, *qui n'a plus déterminé le moindre trouble dans le liquide*.

Après un repos de trois jours dans la chambre obscure, j'ai fait passer dans un ballon de quinze litres tout le liquide surnageant les flocons de chlorure d'argent. Je me suis servi, à cet effet, d'un siphon dont la courbure, d'un diamètre plus considérable que les branches, était munie d'un tube soudé, terminé par un robinet de verre soudé également à son extrémité supérieure. Pour enlever la solution de chlorate existant dans la courbure et les branches du siphon, j'ai fait pénétrer de l'eau pure par l'ouverture du robinet, et j'ai incliné le siphon, soit vers le ballon qui venait de recevoir le liquide, soit vers le ballon qui avait fourni celui-ci, suivant que je voulais faire couler l'eau de lavage dans l'un ou l'autre ballon. Après avoir convenablement lavé le siphon à l'*intérieur* et à l'*extérieur*, pour ne pas perdre la moindre trace de la solution, je l'ai retiré des ballons.

J'ai lavé ensuite par décantation et repos, et avec toutes les précautions imaginables, le ballon et le chlorure d'argent, pour ne pas entraîner une trace de ce composé. Les eaux de lavage, après avoir suffisamment reposé dans un vase à précipité, ont été ajoutées à la solution du chlorate qui était restée d'une limpidité absolue. Les traces de chlorure entraîné par les eaux de lavage dans le vase à précipité, ont été de nouveau introduites dans le ballon d'où elles étaient sorties. Le grand ballon, entouré préalablement d'une double toile noire, a été placé à demeure, et dans une position aussi inclinée que possible, dans un grand vase de bois au milieu de la glace concassée. Ce grand vase de bois était posé sur la tablette d'un étrier oscillant. J'ai adapté à son col un bouchon de caoutchouc percé de deux ouvertures; par

l'une d'elles passait un tube recourbé, en communication avec un appareil de Liebig contenant une solution d'acide sulfureux, et par l'autre passait un tube en S. Le bout du tube en S, qui pénétrait dans le ballon, était effilé et reposait sur son col, afin de forcer le liquide qu'il laissait échapper à couler le long de sa paroi, et à se répandre pendant le mouvement d'oscillation. La partie du tube en S, restée dehors, était mise, à l'aide d'un tube en caoutchouc, en communication avec un réservoir placé par-dessus, sur une planchette trouée, et terminé par un robinet et un tube effilé. En un mot, l'appareil était identique à celui que j'ai employé pour la réduction du bromate, sauf les dimensions qui étaient nécessairement beaucoup plus grandes. Lorsque tout le système était monté, et que la température du réservoir destiné à débiter la solution d'acide sulfureux était abaissée à 0° par l'application de la glace concassée, j'ai introduit dans celui-ci une quantité de solution d'acide sulfureux saturée à 0°, dépassant de *cinq pour cent* celle nécessaire pour réduire à l'état de chlorure le chlorate employé. J'ai pris cet excès de cinq pour cent pour compenser celui qui se perd pendant l'introduction de la solution dans le réservoir. J'ai ouvert ensuite le robinet de celui-ci, de manière à produire un écoulement complet de la solution sulfureuse dans l'espace de soixante à soixante-dix minutes, et, au même moment, j'ai fait imprimer à tout le système un mouvement d'oscillation perpendiculaire au plan d'inclinaison du ballon. Lorsque la solution sulfureuse eut pénétré dans le ballon, j'ai fait continuer encore, pendant une heure, l'agitation lente du liquide. Au bout de ce temps le liquide, convenablement reposé, et éclairé à l'aide d'un faisceau de lumière jaune, s'est montré d'une limpidité absolue. Pour m'assurer s'il y avait encore les éléments du chlorate d'argent en solution, j'ai laissé tomber à la surface cinq centimètres cubes d'une solution diluée d'acide sulfureux. Cette solution n'y a produit aucun trouble, même au bout de quinze minutes d'attente. J'ai procédé alors à l'examen du liquide surnageant.

Deux cents centimètres cubes du liquide décanté, additionnés successivement de *un* jusqu'à *cinq* centimètres cubes de solution normale de chlorure d'ammonium, *n'ont produit aucun trouble au bout de toute une journée d'attente.*

Deux cents centimètres cubes de ce liquide décanté, additionnés successi-

vement de *un* à *cinq* centimètres cubes de solution normale de sulfate d'argent, *n'ont éprouvé aucun trouble après toute une journée de contact.*

La solution d'acide sulfureux contenue dans l'appareil de Liebig, et au travers de laquelle avaient passé les gaz émanés du ballon pendant la réduction, ne contenait également aucune trace de chlore.

Dans la notice consacrée à l'analyse du chlorate, je donnerai le détail des opérations faites pour recueillir, sécher et peser le chlorure produit, et pour rechercher si le liquide au sein duquel le chlorure s'était formé renfermait autre chose que de l'acide sulfurique dilué.

2° *Chlorate d'argent préparé par l'action du chlore sur l'oxyde d'argent suspendu dans de l'eau.*

J'ai versé, sous l'influence d'une agitation continuelle, dans vingt litres de solution diluée d'hydrate de potassium provenant du tartre pur, un volume égal d'une solution d'azotate d'argent pur, contenant *trois kilogrammes et demi de ce sel.* L'oxyde d'argent a été lavé par décantation, jusqu'à ce que le résidu de l'évaporation des eaux de lavage ne contînt plus de trace de potassium reconnaissable au spectroscope. L'opération du lavage de l'oxyde d'argent s'exécute avec infiniment plus de facilité que celle du carbonate de ce métal, parce qu'il se dépose plus facilement; en revanche, il retient, avec une opiniâtreté désespérante, de l'hydrate de potassium; de sorte que le lavage complet de l'oxyde est encore beaucoup plus long et plus délicat à exécuter que celui du carbonate.

L'oxyde délayé dans trois litres d'eau a été mêlé petit à petit avec six litres d'eau de chlore saturée de 8 à 10°. Le tout a été laissé en digestion pendant douze heures, en ayant la précaution de remuer très-souvent ce mélange. Au bout de ce temps, le liquide opalin a été séparé; chauffé, il s'est éclairci, et le résidu obtenu à l'aide de son évaporation contenait *plus de potassium que d'argent.*

J'ai procédé de nouveau au lavage de l'oxyde, par décantation, jusqu'à la disparition complète du potassium dans le résidu provenant de l'évaporation de cinq litres de liquide.

Délayé préalablement dans trois litres d'eau, l'oxyde a été traité une deuxième fois par trois litres d'eau de chlore saturée, et il a été laissé pendant cinq heures en digestion sous l'influence d'une agitation incessante. Tout le liquide qui a surnagé par le repos a été décanté et évaporé jusqu'à siccité. Le sel d'argent, mêlé de l'oxyde dissous par l'eau, a été décomposé à l'aide d'un excès d'acide chlorhydrique, et la liqueur ainsi séparée du chlorure d'argent, ayant été évaporée jusqu'à siccité, a laissé un résidu de quelques milligrammes seulement et contenant une quantité assez minime de potassium.

L'oxyde a été lavé une troisième fois. L'analyse spectrale a été impuissante pour constater la présence du potassium dans le résidu de l'évaporation des eaux de lavage. Après ce lavage, le composé d'argent a reçu encore trois litres d'eau de chlore saturée, et le mélange a été agité pendant cinq heures. L'évaporation du liquide décanté a produit un résidu noirâtre d'oxyde d'argent, renfermant à peine un décigramme de sel soluble d'argent; presque tout le chlore employé avait été retenu dans la grande masse d'oxyde. J'ai séparé, à l'aide d'un léger excès d'acide chlorhydrique, l'argent existant dans le sel soluble produit; le liquide acide d'où l'argent avait été éliminé ayant été ramené à siccité, n'a laissé aucune trace pondérable de résidu.

Dès ce moment, je pouvais donc considérer l'oxyde d'argent comme complétement dépouillé de potassium.

Après les trois traitements successifs à l'eau de chlore, et les trois lavages complets qui ont suivi chacun d'eux, j'ai délayé la bouillie d'oxyde dans quatre litres d'eau pure, et j'ai introduit le tout dans le grand ballon suspendu que j'ai décrit à l'occasion de la préparation du chlorate d'argent à l'aide du carbonate de ce métal. Tout en maintenant le liquide dans une agitation continue, on y a fait passer un courant lent de chlore pendant huit heures consécutives. Au bout de ce temps, le courant de chlore a été interrompu, et le mélange a été maintenu en agitation tant qu'a persisté l'odeur d'acide hypochloreux qu'exhalait assez fortement le liquide. La saturation de cet acide hypochloreux étant effectuée, j'ai décanté tout le liquide surnageant dans des vases fermés et *couverts de papier noir*, et je l'ai abandonné dans l'obscurité complète à la décomposition spontanée.

J'ai remplacé le liquide décanté par un volume d'eau égal, et le mélange, entretenu dans une agitation continuelle, a été soumis encore pendant trois heures à un courant de chlore. Après l'interruption du courant de chlore, le mélange a été maintenu en agitation jusqu'à la disparition de l'acide hypochloreux libre.

La solution d'hypochlorite d'argent produite a été décantée et remplacée par un volume égal d'eau. On a fait passer encore pendant trois heures un courant de chlore au travers du liquide en l'agitant constamment. Le courant de chlore étant suspendu, on a fait osciller le système tant que l'odeur d'anhydride hypochloreux a persisté dans le mélange. Après la dernière action du chlore, la saturation de cet acide par l'oxyde mêlé de beaucoup de chlorure a été lente et difficile; il a fallu presque une heure d'agitation pour atteindre ce résultat.

Dans le but de savoir si je pouvais traiter le sel provenant du dernier traitement avec celui obtenu par les deux précédents, j'ai soumis moi-même le mélange d'oxyde et de chlorure, dont le liquide avait été séparé, à un nouveau courant de chlore, pendant deux heures, après y avoir ajouté quatre litres d'eau. Après l'interruption du courant de chlore, on a été obligé d'entretenir en mouvement le liquide avec le composé insoluble, pendant quatre heures, pour faire disparaître complétement l'odeur de l'anhydride hypochloreux.

J'ai enlevé par décantation et par lavage tout l'hypochlorite produit. Ce liquide, ayant été abandonné pendant deux heures dans l'obscurité, a déposé considérablement de chlorure d'argent. Comme il renfermait néanmoins encore de l'hypochlorite non décomposé, je l'ai porté à 60°, température à laquelle il s'est complétement éclairci en formant un nouveau dépôt de chlorure. Le liquide limpide a été évaporé au bain-marie, et il a fourni jusqu'à la dernière trace de chlorate d'argent sans perchlorate de ce métal. Le chlorate d'argent, évaporé jusqu'à siccité, est un sel aussi inaltérable dans l'air pur et humide, que le chlorate ou le sulfate de potassium. Pour peu qu'il renferme du perchlorate qui est fort hygrométrique, il attire l'eau de l'air. Ayant toute garantie sur la pureté de l'hypochlorite d'argent produit dans les trois opérations successives, j'ai pu réunir les trois liquides, et les soumettre à un seul

et même traitement, après qu'ils eurent déposé par décomposition spontanée la majeure partie du chlorure qu'ils doivent produire par la transformation de l'hypochlorite en chlorate; j'ai chauffé le liquide pour rendre la transformation totale. Comme il était sensiblement alcalin, j'y ai ajouté, après son refroidissement complet, de l'eau de chlore diluée jusqu'à neutralité complète. Cette saturation est une opération fort délicate, parce que l'eau de chlore produit encore de l'hypochlorite avec l'oxyde dissous, et ce n'est qu'après la transformation de cet hypochlorite qu'il est possible de s'assurer s'il n'existe plus d'oxyde dissous. Quoi qu'il en soit de cette difficulté, le résultat étant atteint, le liquide est chauffé de nouveau pour amener la précipitation du chlorure d'argent formé et son éclaircissement. Je l'ai évaporé ensuite jusqu'à siccité pour connaître le poids du chlorate produit; ce poids a été égal à *quatre cent dix-sept grammes*.

J'ai ramené par un grand nombre de cristallisations successives, et par des lavages à l'eau glacée, cette masse considérable en deux parties : j'ai retiré *trois cents grammes* environ de sel que je considère comme absolument pur, et cent seize grammes sont restés dans les eaux mères et de lavage.

a. $39^{gr},862$ de ce chlorate pur, séché à 130°, ont été introduits dans l'appareil à réduction figuré et décrit pages 80 et suivantes; ils ont été dissous dans deux cents centimètres cubes d'eau; *la solution n'en était pas absolument limpide*. Je m'expliquerai ailleurs sur la cause de ce trouble. Lorsque la solution a dû être ramenée près de 0° par la glace qui entourait le flacon qui la contenait, j'y ai laissé couler la solution titrée d'acide sulfureux refroidie également à 0°. L'écoulement a été assez lent pour durer une demi-heure. J'ai fait entretenir ensuite le liquide en agitation encore pendant environ une heure. Après avoir constaté qu'il ne se troublait pas par une solution diluée d'acide sulfureux, j'ai introduit dans le réservoir deux cents centimètres cubes d'eau acidulée par quarante centimètres cubes d'acide sulfurique pur. Pendant que cet acide a coulé, petit à petit dans le flacon, on a entretenu le tout en agitation continue. Comme, après l'opération, le liquide surnageant n'était pas d'une limpidité complète, j'ai retiré de la glace le flacon avec sa double enveloppe de toile, et je l'ai placé dans un bain dont j'ai élevé la température au point où l'éclaircissement a été absolu; ce point a été 72°.

L'essai du liquide a été fait dans l'appareil à *titration* décrit dans la première partie de ce Mémoire (*Sur la constance de composition des combinaisons dites stables*).

Cent centimètres cubes n'éprouvent aucun trouble, même au bout d'une heure, par l'addition de *un* centimètre cube de solution normale de sulfate d'argent.

Cent centimètres cubes n'éprouvent aucun trouble par l'addition de *un* centimètre cube de solution normale de chlorure d'ammonium.

Le liquide est donc absolument dépourvu de chlore à l'état d'acide chlorhydrique, et d'argent à l'état de sulfate.

b. 259^{gr},4535 du même chlorate séché à 150° dans un courant d'air sec, et dépouillé de matières organiques par son passage sur l'oxyde de cuivre chauffé au rouge, ont été fondus à la plus basse température possible, dans un grand ballon de verre dur. Après le refroidissement du ballon, le chlorate a été repris par un volume d'eau suffisant pour que l'addition d'une nouvelle quantité d'eau ne troublât plus la solution produite.

J'ai déterminé l'éclaircissement de ce liquide, son transvasement de ce ballon dans un autre de *quinze litres* de capacité, et le lavage complet du ballon, avec tous les soins que j'ai exposés pages 101 et suivantes, à l'occasion de l'analyse effectuée sur les 138^{gr},749 de chlorate.

La réduction de la solution a été opérée à l'aide d'une solution saturée à 0° d'acide sulfureux, dans l'appareil même que j'ai employé pour la transformation en chlorure des 138^{gr},749 de chlorate. L'opération de la réduction a duré toute une journée. J'ai déterminé, par une élévation de température, l'éclaircissement complet du liquide, et j'ai abandonné jusqu'au lendemain le tout au repos et au refroidissement lent. Le liquide acide surnageant était d'une limpidité absolue ; il exhalait une odeur à peine sensible d'anhydride sulfureux; décanté, il mesurait cinq litres et huit cents centimètres cubes. Deux litres ont été distraits du volume total.

Une moitié du liquide soustrait a été additionnée dans l'appareil à *titration*, successivement de *un* jusqu'à *sept* centimètres cubes de solution normale de sulfate d'argent, sans se troubler au bout d'une heure; l'autre moitié du liquide soustrait a reçu successivement, depuis *un* jusqu'à *six* centimètres

cubes de solution normale de chlorure d'ammonium, sans éprouver de trouble quelconque au bout d'une heure de contact.

Les 259^{gr},4535 de ce sel ont donc été transformés en chlorure sans qu'une trace d'argent ou de chlore soit devenue libre.

Dans l'exposé de l'analyse de ce sel, j'indique les recherches que j'ai faites sur le restant du liquide : elles ont démontré que cette masse si considérable de sel ne renfermait de trace quelconque de matière étrangère à la composition du chlorate d'argent.

Les faits qui précèdent établissent donc à suffisance de preuve que, dans le chlorate d'argent préparé *dans les conditions normales de sa formation, le rapport en poids du chlore à l'argent est absolument le même.*

CONCLUSIONS.

Sous l'influence de l'acide sulfureux, l'iodate, le bromate, le chlorate d'argent peuvent donc être ramenés à l'état d'iodure, de bromure et de chlorure, sans qu'une fraction, quelque minime qu'elle soit, d'iode, de brome, de chlore ou d'argent devienne libre. La conformité des résultats observés dans la transformation de ces trois composés ternaires à l'état de composés binaires, démontre l'invariabilité des rapports en poids des éléments qui les constituent. J'ai prouvé également, et pour autant que cette preuve avait encore besoin d'être faite, la constance de composition de l'un de ces corps binaires : il découle nécessairement de la combinaison de ces deux ordres de faits, que les corps s'unissent dans des rapports absolument fixes et invariables, que ces rapports sont de véritables *constantes*, et que les lois des proportions chimiques, qui ont servi de base expérimentale à l'hypothèse atomique, sont des lois mathématiques, comme les chimistes l'ont admis

depuis bientôt un demi-siècle. La conséquence légitime, qu'il m'est également permis d'en déduire, est donc que les composés, produits dans les *conditions normales de leur formation*, doivent *nécessairement* renfermer leurs éléments *simples* dans les proportions rigoureuses de ces *constantes*.

Enfin, venant aux motifs qui ont déterminé ces recherches si laborieuses et si délicates, je me crois autorisé à dire : Le doute soulevé par M. Marignac au sujet de la synthèse du sulfure et de l'azotate d'argent n'est point fondé *en principe*, et les objections que le célèbre chimiste genevois en a déduites ne sont pas plus fondées que ce doute lui-même.

NOTES.

N° 1.

SUR LA PRÉPARATION DE L'EAU DISTILLÉE PURE.

Dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, j'ai fait connaître les moyens auxquels j'ai été obligé d'avoir recours pour me procurer l'eau distillée pure destinée à mes travaux. Le moyen le plus efficace pour arriver à la destruction des matières organiques volatiles susceptibles de devenir fixes spontanément ou sous l'influence des acides minéraux, consiste, comme je l'ai dit, à faire passer lentement la vapeur d'eau au travers d'un long tube de cuivre rouge, luté extérieurement à l'argile et au sable, rempli complétement de tournures de cuivre grillées, recourbé en zig-zag et chauffé au rouge décidé dans un foyer, et à distiller une seconde fois l'eau provenant de la condensation de cette vapeur, en se servant à cet effet d'un réfrigérant de platine. Cette méthode, irréprochable quant à la pureté du produit qu'elle fournit, laisse cependant à désirer lorsqu'on a besoin de très-grandes quantités d'eau pure, comme cela a été le cas pour mes recherches actuelles. En effet, le passage de la vapeur au travers du tube de cuivre chauffé au rouge produit un

abaissement de température suffisant pour empêcher l'action de l'oxyde de cuivre sur les matières organiques, si le courant de vapeur est un peu trop rapide. On est donc absolument obligé de procéder à une distillation très-lente. Cet inconvénient m'a déterminé à chercher une méthode plus expéditive. J'ai cru la trouver dans l'emploi d'un mélange de manganate et de permanganate de potassium pour détruire les matières organiques. Voici comment je m'y suis pris pour obtenir, à l'aide de ce moyen, les quantités très-considérables d'eau pure qu'il m'a fallu pour les recherches consignées dans ces notices. On a préparé du manganate de potassium à l'aide de l'action de l'hydrate et du chlorate de potassium sur le bioxyde de manganèse. On a délayé le produit pulvérisé dans la plus petite quantité d'eau capable de dissoudre tout le manganate formé, et on a abandonné le mélange au repos dans un vase fermé. On a ajouté de quatre à cinq pour cent de la solution, devenue limpide et colorée en vert très-foncée, à l'eau de source qu'on voulait distiller, et on a laissé réagir le mélange pendant vingt-quatre heures. D'un autre côté, on a introduit dans l'alambic distillatoire un litre ou deux de solution concentrée de manganate de potassium, additionnée préalablement d'un volume égal de solution d'hydrate de potassium assez concentrée pour donner de la stabilité à ce sel, et permettre à sa solution diluée de résister plus longtemps à l'action de la chaleur sans se décomposer. On a rempli ensuite, aux huit dixièmes environ, l'alambic avec l'eau sur laquelle a réagi le manganate de potassium, et on a procédé à la distillation comme à l'ordinaire.

Lorsque l'ébullition s'établit, on modère le feu afin d'empêcher le débordement du liquide qui, pendant quelques instants, produit une mousse assez abondante. Quand ce moment est passé, on peut entretenir l'eau dans une vive ébullition sans le moindre inconvénient. Après le passage à l'état de vapeur du premier vingtième environ de l'eau employée, la vapeur produite est tout à fait dépouillée de matières organiques et même de matières minérales, si le chapiteau est muni de diaphragmes capables d'arrêter les gouttelettes infiniment petites de liquide entraînées toujours par une vive ébullition. C'est à tel point qu'une personne, qui a l'habitude de la conduite de cette distillation, produit du *premier coup* de l'eau dans laquelle il est absolument impossible de découvrir les moindres traces de matières organiques ou des matières fixes existant dans l'alambic.

Néanmoins, lorsque j'ai eu besoin d'eau complétement dépouillée de matières fixes ou capables de le devenir, j'ai eu soin de soumettre l'eau à une nouvelle distillation, en ayant la précaution de me servir comme réfrigérant d'un long tube en platine soudé à l'or; le plus souvent même l'eau, à mesure qu'elle était condensée, était directement utilisée pour le lavage auquel elle était destinée.

Je crois devoir ajouter que, m'étant servi quelquefois d'*eau de pluie* au lieu d'eau de source, pour me procurer de l'eau distillée pure, à l'aide du manganate de potassium, j'ai trouvé des quantités sensibles d'ammoniaque dans l'eau condensée, preuve que le manganate ne détruit point cette base. Il est donc indispensable de soumettre l'eau condensée à une nouvelle distillation avec quelques millièmes de sulfate monosodique ou monopotassique.

Je ne reviendrai pas ici sur les propriétés que doit offrir l'eau pure et sur les moyens de

constater sa pureté. Je me suis suffisamment expliqué sur ces sujets dans le travail rappelé au commencement de cette note, travail auquel je renvoie ceux qui désirent plus de détails à cet égard.

N° 2.

SUR LA RÉDUCTION DES SELS D'ARGENT AMMONIACAUX SOUS L'INFLUENCE DES COMPOSÉS CUIVREUX AMMONIACAUX.

On sait que les solutions des sels d'argent bouillis avec un excès de sulfite alcalin laissent précipiter de l'argent métallique sous forme d'une poussière blanche. Le métal mis en liberté est très-pur; mais on n'obtient jamais ainsi au delà de la moitié de l'argent existant dans le liquide; l'autre moitié résiste indéfiniment à la réduction. Il suffit d'ajouter au liquide bouillant de l'ammoniaque en excès et un sel soluble de cuivre quelconque, pour qu'à l'instant l'argent soit complétement précipité. En effet, sous l'influence de l'ammoniaque, les sulfites solubles ramènent à chaud les sels cuivriques à l'état de sels cuivreux, et les sels cuivreux ammoniacaux réduisent immédiatement tous les composés d'argent ammoniacaux, avec précipitation d'argent pur.

J'ai constaté en 1861 les faits qui précèdent : en 1863, MM. Millon et Commaille ont proposé de séparer l'argent du cuivre et de se procurer l'argent divisé et pur, en précipitant une solution d'azotate d'argent et de cuivre ammoniacal par le chlorure cuivreux ammoniacal. En effet, l'élimination de l'argent est instantanée et complète, et l'argent obtenu est tout à fait pur, lorsqu'on se sert d'une solution cuivreuse ne renfermant aucune trace de fer. Malheureusement, en employant de la tournure de cuivre du commerce pour réduire le chlorure cuivrique à l'état de chlorure cuivreux, la solution ammoniacale de ce dernier chlorure renferme du fer à l'état d'hydrate ferreux. Or, une solution ammoniacale d'hydrate ferreux précipite les composés d'argent ammoniacaux avec dépôt d'argent et d'hydrate ferrique. J'ai trouvé en effet du fer dans l'argent précipité, fer que je ne suis pas parvenu à en séparer complétement, même après une longue digestion dans l'acide chlorhydrique concentré. Je le répète, je considère comme irréprochable la méthode indiquée par MM. Millon et Commaille, lorsqu'on a du cuivre dépouillé de fer pour préparer les chlorures cuivrique et cuivreux; mais lorsqu'on n'a que le cuivre du commerce à sa disposition, il me semble de beaucoup préférable de recourir au sulfite d'ammoniuм ou à tout autre sulfite alcalin, pour déterminer la précipitation de l'argent.

MM. Millon et Commaille ont proposé de doser l'argent, à l'aide de la solution ammoniacale de chlorure cuivreux. Cette solution, en effet, précipite l'argent, d'une manière absolue, de toutes ses solutions ammoniacales, et pendant les lavages, aucune trace d'argent ne se dissout tant que le liquide renferme du chlorure cuivreux; mais dès que ce chlorure est

enlevé, ou bien dès qu'il est transformé en chlorure cuivrique, l'argent est sensiblement dissous par l'ammoniaque, sous l'influence de l'air. Je ne puis donc pas considérer comme un moyen de dosage absolument exact la précipitation de l'argent par le chlorure cuivreux ammoniacal, ou par le sulfite d'ammonium ammoniacal, ce qui revient au même quant aux conséquences pour l'inexactitude relative du dosage.

N° 3.

SUR LA CAPACITÉ DU RÉSERVOIR DE L'APPAREIL DESTINÉ A LA DÉTERMINATION DU TITRE DE L'ARGENT.

Cette capacité est déduite des données suivantes :

1° Poids du flacon plein d'air sec. . . à 11°,2 et à $0^{m},7366 = 1^{kil.},745,688$
2° Poids du flacon plein d'air sec. . . à 11°,0 et à $0^{m},7318 = 1^{kil.},745,690$
3° Poids du flacon plein d'eau pure . . à 10°,1, $= 8^{kil.},065,130$

N° 4.

SUR LA CAPACITÉ DU MESUREUR DE L'APPAREIL DESTINÉ A LA DÉTERMINATION DU TITRE DE L'ARGENT.

Cette capacité est déduite des données suivantes :

I. Différence entre le poids de la pipette pleine d'eau distillée et le poids de la pipette vidée dans la position verticale par l'écoulement naturel de l'eau :

			gram.
1° Température de l'eau	16°90	—	504,050
2° — —	16°90	—	504,031
3° — —	17°00	—	504,045
4° — —	17°10	—	504,040
5° — —	17°10	—	504,055
6° — —	17°10	—	504,035
Moyenne.	17°01		504,044

II. La capacité de la partie divisée du tube capillaire a été déterminée en remplissant à plusieurs reprises cette partie de mercure et en pesant le métal écoulé. Le poids du mercure remplissant les 70 divisions a été trouvé égal a $5^{gr},041$, d'où son volume $= 0^{cc},3703$; chaque division présente donc $0^{cc},00529$ de capacité.

N° 5.

SUR LA PRÉPARATION DE L'IODATE DE POTASSIUM.

Comme j'ai eu besoin d'assez grandes quantités de ce sel, j'ai essayé plusieurs méthodes pour me le procurer. Il n'y en a que deux qui m'ont fourni un produit *inaltérable à l'air*. L'une consiste à transformer l'hydrate de potassium dissous dans l'eau en iodure et iodate de ce métal, en faisant réagir sur lui de l'iode purifié; l'autre repose sur la formation de l'iodate par l'action de la chaleur sur un mélange en poids moléculaires égaux d'iodure et de chlorate de potassium. Voici comment j'ai exécuté la préparation de l'iodate par ce dernier moyen. J'ai mêlé intimement l'iodure et le chlorate, dépouillés l'un et l'autre de métaux étrangers à l'aide d'une solution de sulfhydrate de potassium. Le mélange bien séché a été introduit dans des cornues, qui en ont été remplies aux deux tiers. J'ai placé ces cornues dans un bain de sable. Dans le même bain, j'ai plongé assez profondément une petite cornue contenant du chlorate de potassium pur. A chacune de ces différentes cornues était adapté un tube recourbé plongeant dans de l'eau. J'ai élevé la température du bain au point de fondre le chlorate contenu dans la petite cornue et de provoquer ensuite un dégagement continu d'oxygène. Lorsque j'ai réussi à bien graduer la température, et que je n'ai pas dépassé le point de décomposition de l'iodate par la chaleur, degré qui est sensiblement plus élevé pour ce sel que pour le chlorate, j'ai ramené complétement l'iodure en iodate et le chlorate en chlorure, sans qu'il se soit dégagé de l'oxygène.

Pour séparer l'iodate du chlorure, j'ai ajouté à la masse refroidie de l'eau froide en quantité suffisante pour désagréger le mélange. J'ai fait ensuite porphyriser la masse saline, et après l'avoir introduite dans un appareil à déplacement, on l'a lessivée à l'eau froide jusqu'à ce que presque tout le chlorure fût enlevé. On a soumis ensuite l'iodate à *trois cristallisations successives*. Après chaque cristallisation opérée brusquement, on a fait subir au sel un lavage méthodique. Après la première cristallisation, je ne suis plus parvenu à découvrir une trace de chlorure ou d'iodure.

L'iodate ainsi préparé se conserve indéfiniment *sans jaunir en présence de l'air*. Il n'en est pas de même de celui que l'on obtient en attaquant le chlorate de potassium à l'aide de l'iode. Lors même qu'on décompose par du carbonate de potassium le trichlorure d'iode qui se forme toujours en même temps que l'iodate de potassium, le sel ainsi produit jaunit

très-sensiblement à l'air, même après qu'il a subi *cinq cristallisations successives*, suivies chacune d'un lavage méthodique. Je n'ai pas pu découvrir quelle est la matière qui communique à cet iodate de potassium la propriété de jaunir, mais le fait a été parfaitement constant.

N° 6.

SUR LE LAVAGE ET LA DESSICCATION DE L'IODATE D'ARGENT.

Le lavage et la dessiccation de l'iodate d'argent, qui semblent être des opérations des plus simples, sont au contraire d'une exécution des plus délicates lorsqu'on veut dépouiller absolument ce sel de toute matière étrangère, et qu'on veut le garantir contre toute altération.

Dans cette note, je vais exposer comment j'ai été obligé de procéder à ce lavage et à cette dessiccation.

D'abord, j'ai constaté que les solutions employées ne peuvent contenir au delà de deux à deux et demi pour cent de matières réagissantes, pour donner naissance à un iodate dans un état de division convenable pour se prêter à un lavage relativement facile.

L'iodate déposé par un repos suffisant, pour être ramené au minimum de volume qu'il peut prendre à froid, est délayé dans deux à trois fois son volume d'eau froide. Le mélange est introduit dans un flacon bouché à l'émeri et agité lentement pendant une demi-heure au moins : cette longue agitation produit la désagrégation de l'iodate; il est abandonné ensuite au repos pendant vingt-quatre heures. Au bout de ce temps, tout le liquide limpide est décanté et remplacé par un volume d'eau égal à celui qui a été décanté. Ce mélange est secoué de nouveau pendant une demi-heure, et abandonné encore au repos jusqu'à ce que l'iodate soit suffisamment déposé.

En supposant que, par suite de l'agitation, la solution saline interposée dans le précipité se mêle à l'eau ajoutée, le calcul indique qu'en répétant neuf ou dix fois ces différentes opérations, la quantité qui reste dans l'iodate est devenue à peu près impondérable. Cependant l'expérience m'a démontré qu'il n'en est pas ainsi en réalité. Il m'a fallu renouveler ces opérations de douze à quinze fois, pour ne plus trouver dans les eaux de décantation, évaporées à siccité, des traces d'iode ou de potassium, preuve évidente que le sel d'argent ne cède qu'avec une lenteur extrême les dernières portions des matières salines à l'aide desquelles il a été produit, ou qui ont pris naissance en même temps que lui. Encore m'est-il arrivé de trouver du potassium dans l'iodate, lorsque le résidu de l'évaporation de l'eau de décantation n'en renfermait plus de trace appréciable à l'analyse spectrale : c'est pour ce motif que, dans toutes les préparations de l'iodate d'argent, après les lavages à l'eau froide, j'ai soumis les précipités au sein de l'eau à une température de 100°, et que je les ai fait agiter vivement

pour obtenir, après leur contraction, une nouvelle désagrégation. J'ai procédé ensuite à un nouveau lavage à chaud.

Tous les lavages par décantation dont il est question dans le présent Mémoire, et notamment les lavages de l'iodate, de l'oxyde et du carbonate d'argent, ont été effectués *en recourant à l'agitation des précipités à laver dans des flacons bouchés à l'émeri*. La simple agitation opérée à l'aide d'une tige dans des vases à précipité, telle qu'elle est généralement pratiquée dans les laboratoires, est absolument insuffisante pour produire un dépouillement *complet*, surtout lorsqu'on opère sur des quantités très-considérables de matière.

L'expérience m'a prouvé également que, dans les lavages par décantation, la longue agitation des précipités avec une quantité d'eau relativement faible, et la répétition des opérations faite un grand nombre de fois, sont des moyens beaucoup plus infaillibles pour atteindre le but qu'on se propose, que l'emploi de quantités d'eau incomparablement plus grandes, combiné avec une agitation moins prolongée et un nombre de décantations moins considérable. On perd ainsi en pureté de matière ce que l'on gagne en temps et en peine.

Pour enlever à l'iodate, lavé à froid et à chaud, la presque totalité de l'eau dans laquelle il est délayé, je verse la bouillie dans un grand entonnoir, ou dans un cylindre large et terminé par une douille longue et relativement étroite. Le bec de l'entonnoir ou la douille du cylindre renferme d'abord une bourre de fils d'argent fortement serrée et servant de support à un tampon de toile de lin purifiée, destiné à faire l'office de filtre pour l'iodate. A l'aide d'un tube convenable de caoutchouc, je fixe l'entonnoir ou le cylindre sur une des deux tubulures d'un grand flacon sphérique de Woulf; l'autre tubulure est mise en rapport avec une petite pompe pneumatique à main. Lorsque tout le liquide susceptible de s'écouler spontanément est descendu dans le flacon, je donne lentement quelques coups de pompe, et la pression atmosphérique qui s'exerce sur la surface de l'iodate élimine de celui-ci la presque totalité de l'eau interposée. On obtient ainsi une masse pulvérulente se détachant en bloc. Cette masse, séchée dans une étuve traversée par un courant *d'air dépouillé de matières organiques*, ne perd guère au delà de cinq à six pour cent de son poids. Je dis dans une étuve et non pas dans le vide, parce que l'expérience m'a démontré qu'une enceinte dans laquelle la tension ne dépasse pas un demi-millimètre renferme assez de matières organiques provenant des corps gras employés à fixer la cloche sur le plateau, pour que l'iodate en soit altéré.

En effet, dans l'obscurité la plus complète, l'iodate exposé vingt-quatre heures au vide, au-dessus de l'acide sulfurique le plus pur, devient violet et même noirâtre, tandis qu'il se conserve intact dans un air dépouillé de matières organiques. J'ai remarqué, du reste, qu'un grand nombre de sels d'argent s'altèrent ainsi dans le vide pneumatique, par suite des émanations des corps gras employés; le bromate, le chlorate, l'azotate lui-même sont dans ce cas.

N° 7.

PRÉPARATION DE L'ANHYDRIDE SULFUREUX EMPLOYÉ POUR LA RÉDUCTION DE L'IODATE, DU BROMATE ET DU CHLORATE D'ARGENT.

Le courant d'anhydride sulfureux a été obtenu en attaquant, à l'aide du cuivre, l'acide sulfurique purifié et *dilué de la moitié aux deux cinquièmes de son volume d'eau.* Pour garantir la pureté de l'anhydride sulfureux, j'ai fait passer le courant, d'abord au travers de l'eau contenue dans un grand flacon laveur, ensuite au travers de deux flacons de Woulf complétement remplis de pierre-ponce concassée en petits fragments et humectée. La pierre-ponce humectée, introduite dans les flacons, avait été calcinée à deux reprises avec de l'acide sulfurique, pour la dépouiller des chlorures et fluorures qu'elle contient souvent.

Le courant d'anhydride sulfureux, avant de pénétrer dans l'appareil contenant l'iodate ou le bromate, traversait un tube en T, engagé à l'aide d'un bouchon dans une des tubulures d'un flacon de Woulf, contenant de l'acide sulfurique; l'autre tubulure était surmontée d'un tube terminé par un robinet, comme l'indique la figure de l'appareil destiné à la réduction du bromate d'argent, par un courant d'anhydride sulfureux.

A l'aide de cette disposition, on peut régler le courant comme on le désire; on peut même ne laisser entrer dans l'appareil à réduction que le volume d'anhydride sulfureux capable d'être absorbé ou utilisé pour la réduction de l'iodate ou du bromate.

Le même appareil a servi pour toutes les réductions du bromate et du chlorate d'argent dont il est question dans ce Mémoire. Les grandes quantités d'acide sulfureux titré que j'ai employées pour l'analyse de l'iodate, du bromate et du chlorate d'argent, et pour la synthèse de l'iodure et du bromure de ce même métal, ont été préparées à l'aide du même appareil.

N° 8.

SUR LA PRÉPARATION DE L'ACIDE IODIQUE.

J'ai préparé l'acide iodique par l'action de l'iode pur sur l'acide azotique normal. A cet effet, j'ai opéré à la fois sur quatre litres d'acide azotique pur, auquel j'ai ajouté le *dixième* de son poids d'iode. On a beaucoup exagéré le rendement de l'acide iodique par cette méthode. Le poids de l'acide pur produit ne représente pas le quart du poids de l'iode employé. Pour éliminer avec certitude l'acide azotique que l'acide iodique retient toujours,

j'ai repris, par de l'eau, le résidu solide jaunâtre qu'on obtient en évaporant jusqu'à siccité le liquide provenant de l'attaque de l'iode par l'acide azotique fumant. La solution de cet acide brut, introduite dans un vase de verre inattaquable aux acides, a été évaporée jusqu'à siccité; le résidu blanc a été chauffé jusqu'à 200° maintenu à cette température pour le ramener à l'état d'anhydride iodique et en séparer, avec l'eau, la dernière trace d'acide azotique contenu.

Comme l'attaque de l'iode par l'acide azotique a été accomplie dans une grande cornue de verre ordinaire, l'acide iodique obtenu contenait des traces d'iodate de sodium et de calcium, que je ne suis pas parvenu à en éloigner.

J'avais espéré faire servir l'anhydride iodique à la détermination du poids atomique de l'iode : dans ce but, j'ai préparé au delà de *deux kilogrammes* d'acide iodique cristallisé, par l'action de l'acide sulfurique dilué et bouillant sur l'iodate de baryum ; mais quels qu'aient été les soins que j'ai pris, il m'a été impossible d'obtenir ainsi soit de l'acide iodique, soit de l'anhydride iodique privé de baryum, dont la majeure partie existait à l'état de sulfate. D'après les efforts que j'ai faits pour éliminer le baryum, je crois pouvoir affirmer que, par cette méthode, il est tout à fait impossible de se procurer de l'acide iodique pur.

N° 9.

SUR LE DITHIONATE DE BARYUM ET L'ACIDE DITHIONIQUE.

Le dithionate de baryum a été produit par l'action du monosulfure de baryum sur le mélange de sulfate et de dithionate de manganèse, que l'on obtient en faisant réagir un courant d'anhydride sulfureux sur du bioxyde de manganèse suspendu dans de l'eau maintenue à 0°. Le bioxyde de manganèse avait préalablement été traité à l'acide sulfurique dilué et bouillant. La solution de dithionate de baryum, séparée du sulfate de baryum et du sulfure de manganèse, a été évaporée jusqu'à siccité. La masse saline a été reprise par de l'eau froide; le sel obtenu par l'évaporation de cette solution filtrée a été soumis à trois cristallisations successives. Le dithionate produit ainsi, décomposé par l'acide sulfurique dilué, fournit une solution d'acide dithionique qui, *immédiatement* après sa préparation, dissout intégralement le carbonate et l'oxyde d'argent, en se transformant en une solution de *dithionate d'argent absolument incolore et neutre*. Si l'on abandonne, au contraire, la solution d'acide dithionique à elle-même, au bout de quelques jours il s'y développe de l'acide sulfureux, surtout si la lumière intervient. Cet acide, en effet, ne possède point la stabilité qu'on lui attribue généralement. L'acide dithionique altéré ainsi, en dissolvant l'oxyde ou le carbonate d'argent, produit un liquide incolore d'abord, mais qui ne tarde pas à jaunir, à

passer ensuite au brun, au noir; il dépose enfin du sulfure d'argent. L'acide dithionique altéré agit donc comme le font les acides tri, tétra et pentathionique [1].

N° 10.

SUR LE SULFATE ET LE BROMATE D'ARGENT.

Le sulfate d'argent, destiné à la préparation du bromate d'argent, doit être absolument *neutre* au tournesol. S'il renferme la moindre trace d'acide, le bromate d'argent produit contient du bromure de ce métal. On constate aisément le fait en dissolvant ce sel dans de l'eau bouillante; dans ce cas, la solution n'est point limpide, et de plus elle devient violette ou pourprée sous l'influence de la lumière. Pour parvenir à me procurer du bromate d'argent susceptible de se dissoudre dans l'eau sans que sa solution devienne violette à la lumière, j'ai été obligé de préparer le sulfate d'argent par double décomposition. A cet effet, j'ai versé petit à petit une solution d'azotate d'argent *fondu* dans un excès de solution bouillante de sulfate bi-potassique pur. Le précipité cristallin, lavé d'abord convenablement à l'eau froide, a été mis, à trois reprises différentes, à bouillir avec de l'eau pure. Une solution bouillante de ce sulfate peut être ajoutée à une solution également bouillante de bromate de potassium, sans que le mélange se trouble ou se colore sous l'influence de la lumière.

Le bromate d'argent qui s'en dépose par le refroidissement est inaltérable à la lumière seule, et, dissous dans l'eau bouillante, il produit un liquide incolore qu'on peut maintenir incolore en le laissant bouillir à la radiation solaire directe. Dans l'air renfermant des matières organiques en suspension, ou dans le vide pneumatique où il se répand des produits émanés des corps gras employés pour lubréfier les pistons, le bromate d'argent le plus pur devient rapidement violet ou pourpré.

L'eau qui m'a servi à dissoudre le bromate d'argent a été distillée *deux fois* sur du manganate de potassium, pour la dépouiller absolument de matières organiques. Cette précaution est tout à fait indispensable.

[1] Depuis l'exécution de ces travaux et la rédaction de cette note, j'ai reconnu l'altérabilité de l'acide sulfureux. Je crois donc que les phénomènes produits par l'acide dithionique altéré sont dus aux modifications qu'éprouve l'acide sulfureux qui prend naissance lors de la décomposition spontanée de l'acide dithionique.

DEUXIÈME MÉMOIRE.

RECHERCHES NOUVELLES SUR LES POIDS ATOMIQUES DE L'ARGENT, DE L'IODE, DU BROME ET DU CHLORE, FAITES DANS LE BUT DE CONSTATER SI LE POIDS ATOMIQUE DE L'ARGENT, DÉTERMINÉ A L'AIDE DE CES TROIS CORPS, EST LE MÊME ET SI CES POIDS ATOMIQUES SONT CONFORMES À L'HYPOTHÈSE DE PROUT.

PRÉLIMINAIRES.

Le titre de ce travail indique suffisamment le but que je me suis proposé en l'entreprenant. Dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, j'ai donné déjà de nouvelles synthèses du chlorure d'argent; pour résoudre le problème complexe que je me suis posé, il me restait à refaire :

1° De *nouvelles synthèses de l'iodure d'argent;*
2° De *nouvelles synthèses du bromure d'argent;*
3° De *nouvelles analyses de l'iodate d'argent;*
4° De *nouvelles analyses du bromate d'argent;*
5° De *nouvelles analyses du chlorate d'argent.*

Ce Mémoire contient l'exposé de ces différentes recherches, réparti dans une série de notices séparées. Ces notices sont précédées d'un aperçu sur les systèmes de synthèse et d'analyse employés actuellement par les chimistes, et d'un exposé des motifs des changements que j'ai cru nécessaire d'apporter à ces systèmes, afin de donner aux résultats une plus grande garantie d'exactitude.

I. — Des systèmes employés pour faire des synthèses et des analyses.

Les synthèses et les analyses que j'ai fait connaître dans le travail publié en 1860 ont provoqué cette question : « Qui pourrait nier que les différences de M. Stas ne sont pas dans les limites des erreurs d'observation [1] ? » J'avoue que j'ai dû nécessairement être d'un avis contraire, sans cela je ne me serais pas cru autorisé à tirer de ces travaux les conclusions contre lesquelles se récrie M. Moigno. Cependant, après avoir fait de cette critique l'objet de mes réflexions, je me suis demandé si, en principe, le système d'analyse et de synthèse employé par tous les chimistes présente les garanties que l'on est en droit d'exiger des recherches dont on veut déduire des conséquences importantes.

On le sait, les synthèses et les analyses se font aujourd'hui *par différence*. Cette méthode présuppose, pour la synthèse, que le poids de l'élément employé se trouve *intégralement* dans le composé dans lequel on l'engage; elle exige, de plus, que l'on admette que le composé produit, et qu'on pèse, ne renferme absolument que le corps simple ou complexe que l'on a combiné au premier [2]. Cette méthode présuppose de même, pour l'analyse, que la différence représente absolument le poids de l'autre élément simple ou complexe combiné. Dans ce système, l'opération de synthèse ou d'analyse ne renferme point en elle-même le moyen de bien préciser l'erreur qu'elle comporte; elle ne permet de se faire une idée de l'exactitude du résultat, que par la *répétition* un grand nombre de fois faite de la même opération, exécutée dans des

[1] *Cosmos*, t. XVII, p. 655.

[2] En examinant les données que possède la science, on est bientôt convaincu que le système de synthèse par différence, appliqué par les chimistes les plus habiles, a produit des résultats affectés d'erreurs dues à l'une ou à l'autre de ces causes.

Ainsi Berzelius n'a jamais obtenu de $100^{gr},000$ d'argent au delà de $132^{gr},790$ de chlorure de ce métal, tandis qu'il est certain qu'il aurait dû en avoir $132^{gr},850$; il a donc perdu du métal. Gay-Lussac et Rose, dont personne ne s'aviserait de mettre en doute l'extrême habileté analytique, ont obtenu, le premier, $132^{gr},890$, et, le second, $133^{gr},014$ de chlorure d'argent, quantités incontestablement supérieures à celles que $100^{gr},000$ d'argent peuvent produire. Le chlorure formé contenait indubitablement de l'azotate; preuve que le système de synthèse renferme des causes d'erreurs auxquelles les plus exercés ne sont pas certains de se soustraire.

conditions qui, on doit bien le reconnaître, ne peuvent varier que dans une limite très-étroite. Cette méthode exclut, en outre, la possibilité de faire la part de *l'erreur constante* qui affecte plus ou moins chaque mode d'opération comme chaque observation. Ce système présente enfin un autre inconvénient : il ne peut donner, par l'opération même, aucune notion sur la pureté de la matière ou des matières mises en expérience.

Ces considérations m'ont déterminé à chercher un système dans lequel ces incertitudes sont éliminées. Il consiste à fixer, par l'expérience même, le poids de chaque élément séparé et le poids des éléments réunis : ainsi, pour une synthèse de deux corps A et B, j'ai déterminé le poids de A et le poids de B, et après leur union j'ai pesé AB produit.

Dans l'analyse d'un corps ABC, lorsque j'ai voulu connaître le rapport de AB à C, j'ai cherché à déterminer séparément le poids de ABC, le poids de AB et le poids de C qui en dérivent. Il est bien évident qu'on peut mesurer exactement la limite d'erreur que comportent les synthèses et les analyses faites dans ces conditions.

La mise en pratique de ce système de synthèse, que j'appellerai *synthèse complète*, présuppose indubitablement la connaissance préalable des rapports en poids approximatifs dans lesquels se combinent les deux corps dont on veut déterminer rigoureusement le rapport proportionnel. Cette connaissance, on peut l'acquérir par la *synthèse par différence*, ou bien par la *synthèse par somme*. En effet, on conçoit qu'il doit exister trois moyens d'arriver à la composition d'un corps par la voie de la synthèse. Le premier, la synthèse par différence, dans laquelle on pèse l'un des éléments et le composé produit, le poids de l'autre se déduisant par *différence;* le deuxième, la synthèse par somme, dans laquelle on pèse les éléments séparés du composé sans peser le composé produit, et le troisième, la synthèse complète, dans laquelle on pèse les éléments séparés et, comme contrôle, le composé qui résulte de leur combinaison.

J'ai eu recours à ces trois moyens pour les nouvelles synthèses de l'iodure et du bromure d'argent, que j'ai tentées dans le but d'en déduire le rapport proportionnel entre l'iode et l'argent, et le brome et l'argent. Je vais exposer maintenant comment je m'y suis pris pour exécuter matériellement les opérations.

II. — Nouvelle synthèse de l'iodure d'argent.

1° *Synthèse par différence de l'iodure d'argent.*

J'ai fait deux synthèses par différence de l'iodure d'argent. La première a été exécutée à une époque déjà loin de nous (1843), en même temps que la synthèse du chlorure d'argent n° IV, décrite dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, et avec une partie du même argent. Le métal employé provenait de la décomposition de l'acétate d'argent cristallisé un grand nombre de fois.

La deuxième a été faite en 1861.

1° Pour la première, j'ai dissous l'argent dans l'acide azotique dilué et pur, en employant, à cet effet, un appareil analogue à celui que je vais décrire et figurer plus loin.

J'ai ajouté ensuite, dans le vase contenant la solution d'argent, un litre d'eau distillée, et j'ai élevé près de l'ébullition tout le liquide, pour en éliminer les composés azotés dissous. Après le refroidissement du liquide, je l'ai précipité par de l'acide iodhydrique dilué et en très-léger excès, que j'avais produit par le moyen suivant : j'indique ce moyen uniquement pour exposer ce que j'ai fait et non pas pour en conseiller l'emploi, car il renferme un détour inutile, comme il est facile de s'en convaincre.

De l'iodure de potassium, provenant de la calcination de l'iodate de potassium, de la cinquième cristallisation, a été précipité par l'azotate d'argent, en prenant la précaution de laisser un excès d'iodure alcalin non décomposé. L'iodure d'argent produit a été décomposé par l'acide sulfhydrique préparé à l'aide du sulfure de fer fondu et de l'acide sulfurique dilué. La solution d'acide iodhydrique, après avoir été agitée avec un peu d'iodure d'argent pour éliminer l'excès d'acide sulfhydrique, a été distillée dans un courant d'hydrogène. A cette occasion, j'ai remarqué que la solution aqueuse d'acide iodhydrique ne peut être distillée, même dans un courant d'hydrogène, qu'en tant qu'on abrite complétement les vapeurs de l'atteinte d'une chaleur supérieure à celle du point d'ébullition du liquide. J'ai fait, du reste, la même remarque pour l'acide bromhydrique qu'on distille.

Après avoir précipité la solution très-diluée d'azotate d'argent par l'acide iodhydrique, j'ai vivement agité le tout pour produire l'éclaircissement du liquide, et j'ai procédé par décantation au lavage de l'iodure déposé. Comme j'ai opéré *à froid,* ce lavage a été d'une lenteur désespérante, parce que l'iodure d'argent s'est désagrégé lorsque la majeure partie du liquide acide a été séparée; il a produit alors un liquide laiteux qui ne s'est éclairci que par un repos longtemps prolongé; aussi, le lavage a-t-il duré deux mois.

Toutes les eaux de décantation, qui s'étaient légèrement colorées en jaune par de l'iode dissous, ont été réunies; elles mesuraient près de cinq litres. Après un repos convenable, ces eaux ont été évaporées dans un vase de porcelaine et ont laissé un résidu du poids de $0^{gr},0435$. Ce résidu a été traité par de l'acide azotique, dans lequel la majeure partie s'est dissoute; la solution produite a fourni $0^{gr},0315$ d'iodure d'argent, par la précipitation opérée à l'aide d'une solution très-diluée d'un iodure alcalin.

L'iodure d'argent a été séché et pesé dans le ballon même où il avait été produit. Il était d'un jaune pâle, sale. J'ai constaté, à cette occasion, que ce corps, une fois bien desséché à une température de 120° à 150°, ne perd plus rien de son poids jusqu'à sa fusion, qui peut également s'effectuer sans perte de poids, si on évite d'établir un courant d'air dans le vase.

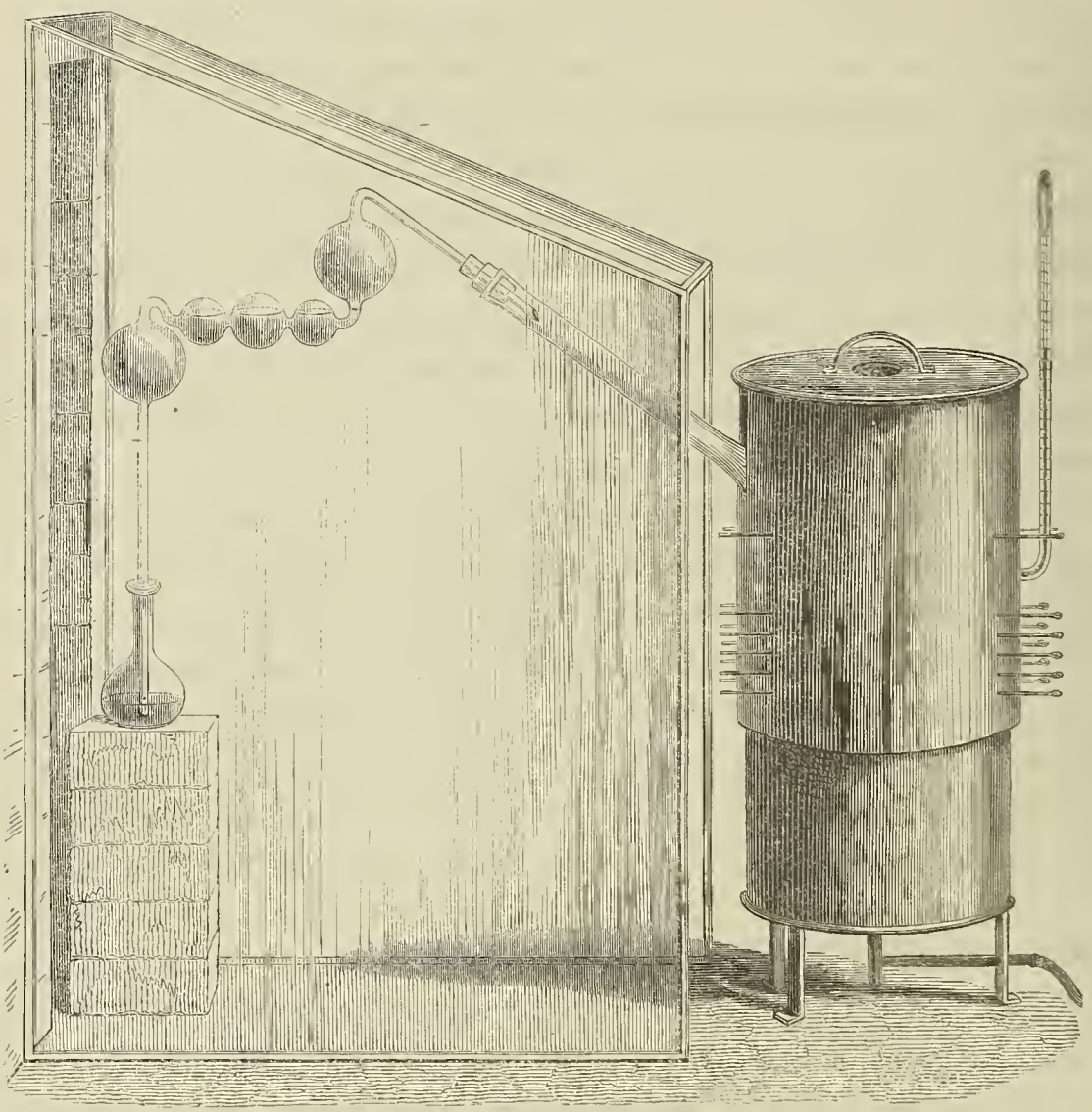
2° L'argent employé pour la deuxième opération est le même que celui qui a servi pour la plupart des synthèses de l'iodure et du bromure d'argent dont il me reste à parler. Il provenait de la réduction du chlorure pur par le sucre de lait et l'hydrate de potassium purs et avait été affiné au gaz *tonnant.* Il était absolument pur : dans la notice consacrée à la recherche de la constance de composition des combinaisons stables, je me suis suffisamment expliqué sur les moyens que j'ai employés pour m'assurer de la pureté de cet argent.

Pour le transformer en iodure, je l'ai d'abord dissous dans l'acide azotique dilué; j'ai ramené l'azotate à l'état de sulfate, et la solution de ce sulfate dans l'eau fortement acidulée par l'acide sulfurique pur a été précipitée par l'acide iodhydrique obtenu à l'aide de l'iode dissous dans une solution faible d'acide sulfureux. Cet iode a été préparé par la décomposition de la *diiodamine* pure. Dans l'exposé de la synthèse complète de l'iodure d'argent, je fais connaître les motifs qui m'ont déterminé à recourir à la décomposition de la diiodamine pour me procurer de l'iode dépouillé de chlore et de brome,

et je donne tous les détails nécessaires au sujet de la préparation de cet iode.

Je me borne à indiquer ici les dispositions prises pour dissoudre l'argent dans l'acide azotique et pour transformer l'azotate en sulfate, sans perdre, dans ces opérations, une trace de l'argent pesé. J'ai été obligé de recourir à la transformation de l'*azotate* d'argent en *sulfate*, parce que l'existence de l'acide iodhydrique et de l'acide sulfureux, que j'avais besoin de faire intervenir, est incompatible avec l'existence de l'acide azotique, même très-dilué; il se produit du bioxyde azotique, qui fait éclater les vases fermés dans lesquels on essaie de maintenir le mélange en contact.

Fig. 8.



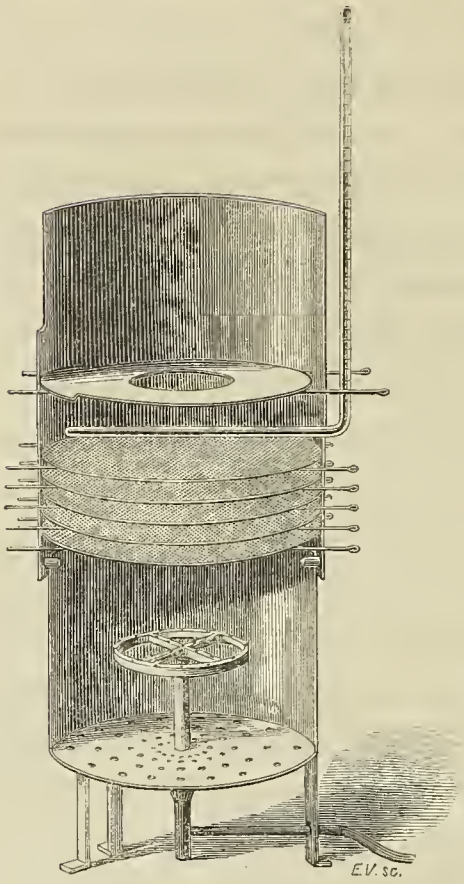
L'appareil qui a servi à la dissolution de l'argent est le même que celui dont j'ai donné la description dans mon travail de 1860, à l'occasion de la synthèse du chlorure et de l'azotate d'argent. J'en donne ici le dessin pour me conformer au désir qui m'en a été exprimé.

Il se compose d'un ballon ou d'un matras en verre *dur*, inattaquable aux acides, de capacité en rapport avec la quantité de métal à dissoudre. Un flacon à fond percé, de même verre, et soigneusement usé à l'émeri, est adapté au goulot du ballon. L'ouverture étroite de ce flacon reçoit un tube à boules, qui y est également usé et la ferme hermétiquement. Les trois boules du milieu contiennent une quantité d'eau convenable; elles sont disposées dans une position très-légèrement inclinée, afin que le liquide exerce la plus faible pression possible sur les gaz qui doivent le traverser. La branche verticale du tube plonge dans un petit matras en verre inattaquable et contenant un volume d'eau moindre que celui que peut renfermer la grosse boule soufflée dans la partie supérieure de ce tube vertical.

Chaque partie de ce système d'appareil est pesée à part : de cette manière on s'assure du changement qui pourrait être survenu dans le poids de l'une d'elles pendant l'opération. Du reste, j'ai constaté à plusieurs reprises que tous les vases en verre dur, une fois qu'ils ont été traités assez longtemps à l'eau régale, pour dissoudre les matières étrangères susceptibles d'être attaquées par les acides, ne cèdent absolument plus rien de leur poids sous l'influence de l'acide azotique ou de l'acide sulfurique bouillants. Comme je l'ai dit dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, la légère altération que présentent *à la longue* les vases, provient uniquement de l'usure inévitable due à la pression qu'on exerce pour adapter hermétiquement les parties les unes sur les autres, ou pour les séparer les unes des autres après l'opération.

Pour effectuer la dissolution de l'argent dans l'acide azotique, je place le ballon dans une position presque horizontale, ou tout au plus à 45°, dans un bain d'air dont la température est élevée de 50 à 60° au plus, comme le montre la figure 8.

Fig. 9.



Le bain d'air chaud est produit par la combustion du gaz éclairant dans un excès d'air; un simple fourneau à couronne, alimenté au gaz, sert de foyer. Ce fourneau est surmonté d'un tronçon de cylindre de diamètre égal au sien. A une distance d'une dizaine de centimètres au-dessus des flammes du gaz, se trouve une série de toiles métalliques circulaires, à fil de fer épais, espacées de centimètre à centimètre. Ces toiles métalliques ont le diamètre du cylindre; elles reposent sur des tringles de fer passant par des ouvertures pratiquées dans les côtés opposés du cylindre. Les produits de la combustion du gaz sont obligés de traverser les toiles, et la température du mélange gazeux est ainsi nécessairement égalisée.

Le ballon est déposé sur une rondelle de tôle de fer, reposant elle-même sur des tringles de fer qui passent au travers des ouvertures opposées pratiquées dans le tronçon du cylindre. Cette rondelle présente un diamètre de deux centi-

mètres de moins que celui du tronçon de cylindre; de cette manière les gaz chauds, qui traversent les toiles métalliques, passent entre la rondelle et le cylindre.

Le col du ballon passe par une échancrure qui est pratiquée sur le côté du cylindre, depuis le haut jusqu'au tiers supérieur environ. Afin de soustraire cette partie du col du ballon au courant d'air, une pièce de tôle supplémentaire, un peu plus large que le diamètre de l'échancrure, est fixée sur la rondelle à l'endroit correspondant à cette échancrure.

Le tronçon de cylindre est fermé à l'aide d'un couvercle mobile de tôle, percé au centre d'une ouverture de cinq centimètres de diamètre, destinée au dégagement des gaz; je ferme cette ouverture plus ou moins, à l'aide d'obturateurs de tôles, suivant que je désire un courant gazeux plus ou moins énergique.

Pour régler la température à laquelle peut atteindre le liquide contenu dans le ballon renfermé dans cette espèce d'étuve, j'introduis un thermomètre à mercure dans l'étuve même. A cet effet, j'ai fait pratiquer une petite ouverture sur le côté du cylindre, un peu au-dessous de la partie par laquelle passent les tringles soutenant la rondelle destinée à recevoir le ballon; de cette manière, la boule du thermomètre touche presque la partie du ballon qui passe au travers de l'ouverture percée dans la rondelle.

Lorsque la pression du gaz reste constante, ce qu'il est facile de réaliser à l'aide d'un régulateur, on peut obtenir ainsi un bain d'air à température presque indéfiniment la même. *C'est dans l'appareil dont je viens de donner la description, qu'ont été exécutées toutes les synthèses du chlorure et de l'azotate d'argent et de l'azotate de plomb que j'ai fait connaître dans mon travail publié en 1860, et toutes les synthèses d'iodure et de bromure d'argent qui me restent à décrire.*

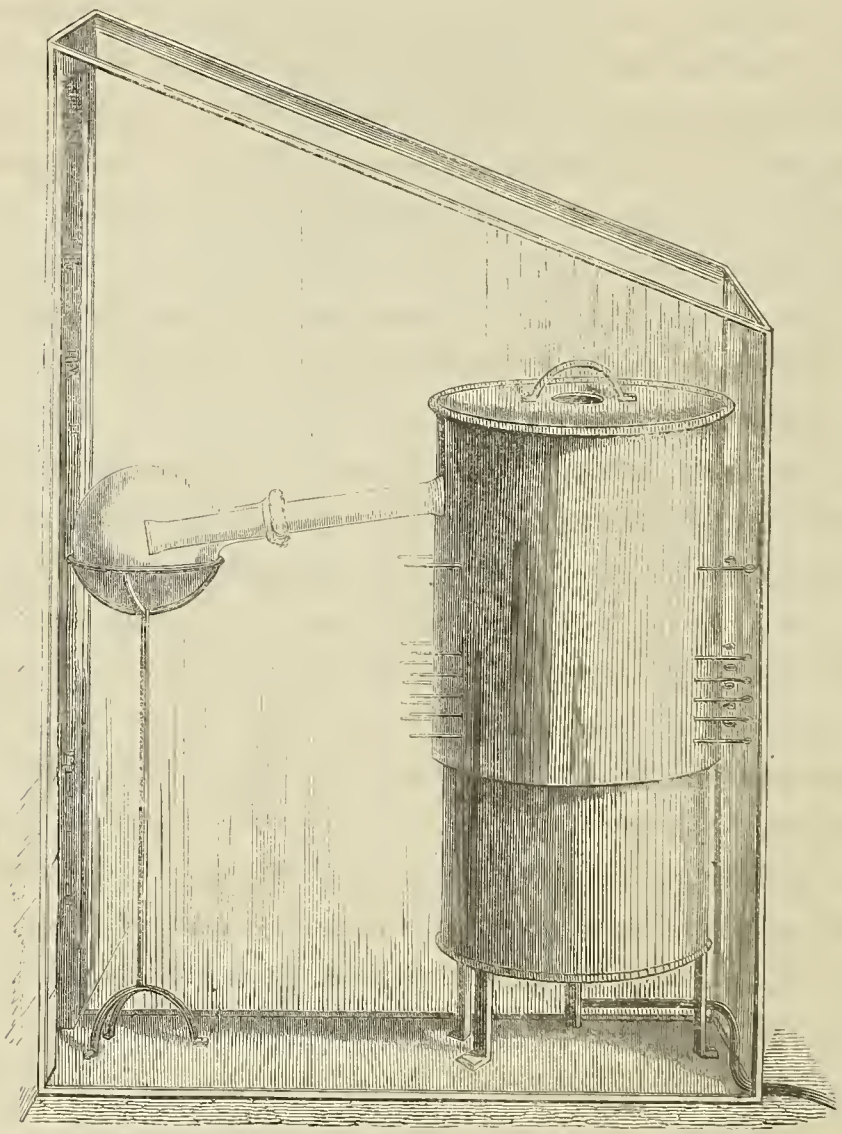
Avant de placer le ballon dans l'étuve, j'y introduis la quantité d'acide azotique dilué nécessaire pour dissoudre tout l'argent. Cet acide est préparé à l'aide de l'acide azotique au *maximum de concentration* et de l'eau pure; car ce n'est qu'à l'état de *maximum* de concentration qu'on parvient à avoir l'acide pur. Je le dilue d'eau de manière à dissoudre lentement l'argent vers la température de 50 à 60°. L'acide de 1,21 à 1,25 au plus réalise cette condition.

Lorsque tout l'argent est dissous, je retourne sur lui-même le tube à

boules, je fais tomber dans le ballon tout le liquide contenu dans les boules, et je me sers de l'eau du matras, qui est devenue acide, pour laver les boules; cette eau de lavage est également introduite dans le ballon.

Le lavage opéré, j'incline le col assez fortement pour que les vapeurs qui se condensent ne puissent plus retourner dans le ballon; en même temps, j'engage le col dans un récipient, et je procède à l'évaporation lente du liquide, en plaçant tout l'appareil dans une cage de verre comme le montre la figure 10; j'ai soin de maintenir constamment le liquide au-dessous de son point d'ébullition, afin d'éviter autant que possible l'entraînement de l'argent.

Fig. 10.



Je décompose l'azotate produit, à l'aide d'une quantité convenable d'acide sulfurique concentré et pur; j'ai dit dans mon précédent travail comment je me procure celui-ci. Cette décomposition est également effectuée à une température inférieure au point d'ébullition de l'acide azotique. Comme l'acide sulfurique employé en excès retient de l'acide azotique ou des composés azotés, j'ajoute au sulfate d'argent produit une nouvelle quantité d'acide sulfurique renfermant dix pour cent de sulfate d'ammonium pur, et je chauffe le tout à une température supérieure à celle qui est nécessaire pour la destruction des composés azotés par le sulfate d'ammonium. Cette action s'accomplit sans la moindre perte de sulfate d'argent.

L'eau acide, provenant de l'évaporation de la solution d'azotate d'argent, est ajoutée à l'acide azotique résultant de la décomposition subséquente de cet azotate, et le tout est évaporé une seconde fois dans une capsule de porcelaine. Les quelques milligrammes de résidu d'azotate d'argent qui en proviennent sont chauffés avec de l'acide sulfurique, pour les transformer en sulfate d'argent. Ce sulfate, repris par de l'eau, est ajouté à la masse de sel contenu dans le ballon.

Je dissous enfin le sulfate acide d'argent dans une quantité suffisante d'eau bouillante acidulée par *dix pour cent* d'acide sulfurique, et j'abandonne le tout au *refroidissement complet*.

Je précipite l'argent à l'aide de l'acide iodhydrique titré, obtenu en versant à l'*instant même* de l'*acide sulfureux* TRÈS-DILUÉ sur un poids connu d'iode suspendu *dans de l'eau glacée*. Si l'on a soin d'opérer avec de l'acide sulfureux dilué, de maintenir la température très-basse, de prendre de l'acide sulfureux *tout récemment préparé* et de ne pas en exagérer la quantité, le produit de la réaction de l'iode se compose uniquement d'acide iodhydrique et d'acide sulfurique. Si, au contraire, la température s'élève, ou si l'on prend de l'acide sulfureux en partie altéré, ou *si l'on augmente au delà du nécessaire la dose d'acide sulfureux;* dans ces cas, l'acide iodhydrique produit peut être réduit avec dépôt de soufre et d'iode et formation d'un acide polythionique, qui a la propriété de transformer les sels solubles d'argent en sulfure de ce métal.

Lorsque j'ai introduit une quantité d'acide iodhydrique suffisante pour la

précipitation totale de l'argent, je fais agiter pendant une heure au moins le liquide, *afin de décomposer le sulfate d'argent qui a été entraîné avec l'iodure de ce métal.* Quoique le liquide ne s'éclaircisse pas complétement par l'agitation, il se dépouille cependant suffisamment pour qu'on puisse s'assurer, à l'aide de l'addition de l'acide iodhydrique, s'il y a encore de l'argent en solution. Dans le cas contraire, je place le ballon au bain-marie, et j'élève la température jusqu'à l'éclaircissement du liquide qui, dans l'expérience que je décris, s'est effectué vers 60°.

Le dépôt de l'iodure étant accompli, j'ai décanté, dans un vase à précipité de cinq litres de capacité, le liquide acide et chaud, répandant sensiblement l'odeur de l'anhydride sulfureux, et je l'ai remplacé par une quantité convenable d'eau pure, chauffée à la même température de 60°. J'ai remis le ballon au bain-marie en lui imprimant, pendant *une demi-heure,* un mouvement de rotation pour opérer le mélange intime de l'eau et de l'iodure, et je l'y ai laissé en maintenant constamment sa température entre 60 et 70°, jusqu'à ce que tout l'iodure fût encore déposé. J'ai décanté alors l'eau de lavage en la joignant à la première; et l'on a continué de cette manière le lavage par décantation *à chaud,* tant que j'ai pu découvrir, dans l'eau de lavage *évaporée,* la moindre trace d'acide. Le lavage a duré *cinquante heures* environ, et, pendant tout ce temps, le bain d'eau renfermant le ballon a été porté à une température croissante, mais inférieure à 90°, *ce que j'ai reconnu absolument indispensable pour me mettre à l'abri du délayement de l'iodure d'argent et de la formation de liquide laiteux.*

Quoique j'eusse pris la précaution d'opérer chaque lavage avec la plus petite quantité d'eau possible, le volume total de toutes les eaux a atteint néanmoins quatre mille neuf cent dix-sept centimètres cubes.

Le vase à précipité, contenant les eaux, a été couvert d'un plan de verre et abandonné à lui-même, dans une chambre obscure, jusqu'à dépôt complet des traces d'iodure entraîné par les eaux de lavage, ce qui ne s'est produit qu'après neuf jours. Lorsque j'ai jugé ce fait suffisamment accompli, j'ai, par surcroît de précaution, fait passer le liquide limpide par un double petit filtre de papier, et j'ai reçu le liquide filtré dans un grand flacon bien propre.

Le peu d'iodure d'argent provenant du repos des eaux de décantation a été lavé également à chaud et par décantation, et tous les liquides qui en sont provenus ont été pareillement filtrés.

J'ai replacé le ballon contenant l'iodure dans un bain d'eau dont j'ai élevé la température jusqu'à 100°, pour déterminer une contraction aussi forte que possible de l'iodure d'argent; après avoir agité convenablement l'iodure avec l'eau, j'ai versé la bouillie dans un appareil dont je donne ici le dessin.

Fig. 11.

Il est confectionné en verre dur, réfractaire. Sa partie inférieure contient une bourre de fils fins de platine, récemment rougie. Cette bourre sert de support à l'iodure. L'eau qui passe d'abord n'est point limpide; elle est reçue dans un vase à précipité, qui est pesé en même temps que l'appareil lui-même. J'opère le lavage du ballon à l'aide du liquide limpide provenant de l'iodure lui-même. Enfin, je fais passer toute l'eau écoulée au travers du petit filtre double de papier qui a servi pour les eaux de décantation.

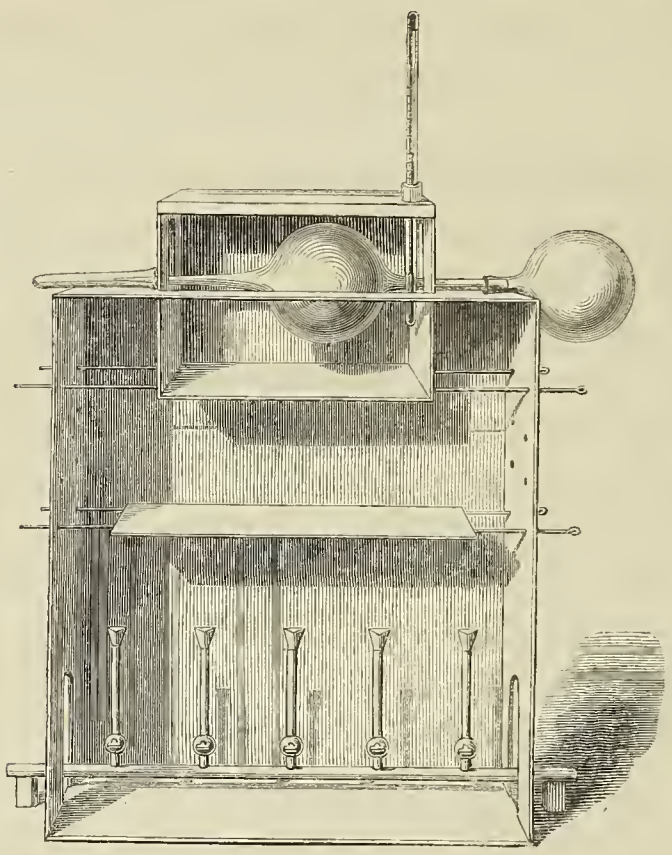
Pour m'assurer qu'il n'est point resté d'iodure adhérent au ballon et au grand vase à précipité dans lequel le dépôt des eaux de décantation a eu lieu, j'introduis une solution très-faible de cyanure d'ammonium obtenu à l'aide de l'acide cyanhydrique pur et dilué, auquel j'ajoute quelques gouttes d'ammoniaque concentrée. Ce liquide dissout, comme on le sait, avec une rapidité étonnante, les iodure, bromure et chlorure d'argent, même fondus.

Je verse ensuite les liquides ayant servi à ce lavage sur le filtre, au travers duquel j'ai fait passer toutes les eaux de décantation, et je les reçois dans de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique pur. L'eau est devenue très-légèrement nuageuse, mais elle n'a point déposé une quantité pondérable d'iodure d'argent, même après avoir été tenue longtemps à 100°.

L'appareil à boule contenant l'iodure humide, et le vase à précipité ont été portés dans des étuves séparées et chauffées vers 100°. L'étuve dans laquelle j'ai placé l'appareil à boule, pour la dessiccation de l'iodure, a été également employée pour la dessiccation du bromure et du chlorure d'argent

dont il est question dans ces Mémoires; comme elle a parfaitement rempli le but, j'ai cru convenable d'en figurer ici une coupe, et de la décrire.

Fig. 12.



Elle se compose d'une grande caisse ou parallélipipède de tôle, ouverte par le haut et le bas. Dans l'ouverture supérieure s'engage, jusqu'à une profondeur voulue, un deuxième parallélipipède de tôle, de dimensions et de forme appropriées à celles de l'objet qu'il est destiné à recevoir. Cette petite caisse est fermée du bas par une tôle ou par une toile métallique, et ouverte du haut; cette ouverture se ferme à l'aide d'un couvercle de métal, dans lequel se fixe un thermomètre.

L'intérieur de la grande caisse renferme cinq becs de Bunsen, munis chacun d'un robinet et adaptés sur un tube de cuivre. Au-dessus, et à une distance de dix centimètres des becs, est placée une plaque épaisse de tôle,

de la longueur du tube de cuivre et large des deux tiers de la largeur de la caisse. Suivant la température que j'ai à développer dans la caisse supérieure, j'allume un nombre suffisant de becs et j'élève à une hauteur convenable les becs avec la plaque de tôle qui reçoit et transmet la chaleur.

La caisse supérieure, contenant l'appareil à boule dans la position qu'indique la figure [1], est chauffée à 100° environ et maintenue à ce degré tant que l'iodure dégage de la vapeur d'eau, ou plutôt jusqu'à ce que le poids de l'appareil soit devenu constant.

Pendant sa dessiccation, l'iodure, si fortement divisé par la longue agitation qu'il a subie lors du lavage, éprouve une contraction qui diminue son volume au moins des deux tiers. Lorsque le poids de l'appareil fut devenu constant à 100°, j'ai élevé lentement jusqu'à 200° la température de l'enceinte qui le renferme, et j'y ai laissé d'abord l'appareil pendant six heures et ensuite pendant douze heures. Finalement, j'ai porté la température du bain d'air jusqu'au point de fusion de l'iodure d'argent, bien entendu en m'abstenant d'établir dans l'appareil même le moindre courant, lorsque la température dépassait sensiblement 100°.

Pendant ce long espace de temps, et malgré la grande variation de température, le poids de l'appareil à boule, avec l'iodure préalablement séché à 100°, est resté absolument invariable, comme le démontrent les données suivantes :

	gram.
Poids de l'appareil, avec la bourre de fils de platine, et du vase à précipité.	156,1225
Poids des mêmes appareils avec l'iodure chauffé à 100° jusqu'à pesée constante (6 heures de refroidissement)	250,7970
Poids des mêmes appareils avec l'iodure chauffé jusqu'à 200° pendant 6 heures (5 heures de refroidissement)	250,7960
Poids des mêmes appareils avec l'iodure chauffé à 200° pendant 12 heures (6 heures de refroidissement)	250,7960
Poids des mêmes appareils avec l'iodure chauffé à son point de fusion (après 4 heures de refroidissement)	250,7950
Les mêmes appareils le lendemain.	250,7955

[1] Le col et la pointe de l'appareil à boule s'engagent dans des vases pesés, afin d'y condenser la vapeur d'eau émise par l'iodure. J'évapore ensuite cette eau condensée pour m'assurer si aucune trace d'iodure n'a été entraînée.

L'iodure d'argent est resté, *depuis le moment de sa formation jusqu'après sa pesée, dans l'obscurité la plus complète.* Sa couleur, à la lumière du jour, était d'un *jaune sale très-pâle;* il se dissolvait instantanément dans une solution de cyanure d'ammonium, en produisant un liquide limpide et incolore; il ne renfermait donc aucune trace d'iodure altéré ou d'argent réduit. *Il est inaltérable par l'action de la lumière diffuse, et même par la lumière solaire directe. Il s'altère seulement sous l'influence combinée de la lumière directe, et même diffuse, et d'une solution d'acide sulfureux,* et encore, dans ce dernier cas, sa réduction est excessivement lente; lorsque tout l'acide sulfureux est transformé en acide sulfurique, l'iodure *jaune* se *reproduit,* même en présence de la lumière [1]. Fondu, il est coloré en jaune, ou en rouge, ou en rouge brun très-foncé, suivant la température; il devient en même temps visqueux. Par le refroidissement, il se prend en une masse cornée d'un jaune pâle et sale; il attaque le verre, mais beaucoup moins rapidement que le bromure et surtout que le chlorure d'argent.

Les eaux de lavage de l'iodure qui mesuraient, comme je l'ai dit plus haut, quatre mille neuf cent dix-sept centimètres cubes, ont été toutes évaporées aux trois quarts, dans une grande cornue de verre; le restant a été introduit dans une cornue de platine, chauffée seulement *sur les côtés* à l'aide de jets de gaz enflammé, émanés d'une couronne creuse, dont le cercle intérieur est percé d'ouvertures.

Ce moyen d'évaporation est extraordinairement favorable pour chauffer exclusivement les vases sur les côtés. Lorsque la majeure partie des liquides dont se composaient les eaux de lavage était volatilisée, qu'une grande partie

[1] J'ai observé ces faits en 1861, époque à laquelle la présente notice a été rédigée. Depuis, j'ai eu, à plusieurs reprises, l'occasion d'en constater l'exactitude. Les photographes admettent aujourd'hui que l'iodure d'argent, produit en présence d'un iodure alcalin en excès, est seul inaltérable à la lumière. D'après eux, l'iodure formé en présence d'un excès d'azotate d'argent s'altère sous l'influence de la radiation solaire. L'altérabilité de l'iodure dans cette circonstance dépend de l'entraînement de l'azotate d'argent. En effet, l'iodure, le bromure et le chlorure d'argent, formés au sein d'un excès d'azotate ou de sulfate d'argent, entraînent toujours une certaine quantité du sel employé. Lorsque, par des lavages suffisamment prolongés, on enlève le sel d'argent fixé ou entraîné, on obtient un iodure inaltérable par la lumière seule, quel que soit le mode de production du sel haloïde d'argent.

du sulfate d'ammonium était également détruite, et qu'il ne restait plus de cette énorme masse que quelques grammes de liquide acide, j'ai introduit le résidu, avec les eaux de lavage de la cornue, dans une petite capsule de platine pesée que j'ai rougie ensuite avec précaution. Le poids du résidu a été de $0^{gr},0074$; fondu, il avait un aspect brunâtre ferrugineux. L'eau l'a dissous, pour la majeure partie, en laissant seulement des traces de sesquioxyde de fer, sans argent ni iodure d'argent. La solution aqueuse acidulée par l'acide sulfurique, et précipitée ensuite par une solution très-diluée d'un iodure, a fourni $0^{gr},0006$ d'iodure d'argent.

Voici le résultat des deux expériences que je viens de décrire :

SYNTHÈSES PAR DIFFÉRENCE DE L'IODURE D'ARGENT.

NUMÉROS D'ORDRE.	POIDS de l'argent dans l'air.	POIDS de l'argent dans le vide.	POIDS de l'iodure d'argent dans l'air.	POIDS de l'iodure d'argent dans le vide.	100,000 d'argent produisent iodure d'argent :
	gram.	gram.	gram.	gram.	
I	97,3955 [1]	97,3915	212,2655	212,2905	217,529
II	43,5255 [2]	43,5281	94,6735	94,6984	217,536
				Moyenne. . . .	217,5325

[1] Les pesées ont été faites à l'aide de poids de laiton.
[2] Les pesées ont été faites à l'aide de poids de platine.

2° *Synthèse par somme et synthèse complète de l'iodure d'argent.*

La synthèse complète de l'iodure d'argent renferme nécessairement la synthèse par somme. C'est pour ce motif que je réunis dans cet exposé le détail des deux opérations. En effet, quel que soit le moyen employé pour exécuter une synthèse par somme, ce n'est évidemment qu'après avoir préa-

lablement opéré la combinaison d'un poids déterminé d'iode avec un poids déterminé d'argent qu'on peut recueillir, sécher et peser l'iodure d'argent qui en résulte. J'ai procédé à ces dernières opérations par les moyens que j'ai employés pour constater le poids de l'iodure d'argent formé par la *synthèse par différence;* j'ai suffisamment fait connaître ces moyens. Pour exposer les méthodes que j'ai suivies pour faire des synthèses complètes, il suffit donc que je dise comment je m'y suis pris pour combiner des poids d'iode et d'argent, déterminés *a priori*, et pour me procurer l'iode pur. Je vais commencer par ce dernier objet.

De l'iode employé dans les synthèses.

Pour effectuer une synthèse complète d'iodure d'argent, j'ai dû nécessairement me procurer d'abord de l'iode pur. Tous les moyens indiqués pour arriver à ce résultat ne m'ont point paru présenter des garanties suffisantes. Aucun de ces moyens, en effet, n'exclut la possibilité de la présence du chlore ni de brome. Après avoir mûrement examiné toutes les conditions dans lesquelles on peut probablement parvenir à obtenir de l'iode; je n'ai pu en découvrir que deux : l'une consiste dans la précipitation, par l'eau, de l'iode dissous dans une solution d'iodure de potassium; l'autre réside dans la décomposition de la *diiodamine* par la chaleur. En effet, le chlore et le brome, contenus dans l'iode employé, doivent rester unis soit au potassium, soit à l'ammonium. Voici comment je me suis procuré de l'iode par les deux moyens.

A. *Iode préparé à l'aide de la précipitation, par l'eau, d'une solution d'iode dans une solution saturée d'iodure de potassium.* — Un kilogramme d'iodure de potassium, dissous dans un litre d'eau, a été saturé d'iode du commerce. Il m'a fallu près de quatre kilogrammes d'iode pour réaliser ce résultat. J'ai ajouté de l'eau à la liqueur brune jusqu'au moment où j'ai vu apparaître un précipité permanent d'iode. Le lendemain, j'ai décanté le liquide limpide, et j'ai déterminé sur une fraction combien il me fallait d'eau pour précipiter d'une partie donnée de cette solution l'iode qu'on peut en éliminer ainsi. Afin de laisser de *l'iode non précipité*, je n'ai pris que les trois quarts de

cette quantité d'eau, et je les ai versés dans le restant de la solution que j'ai entretenue pendant ce temps dans une agitation continuelle.

L'iode éliminé a été lavé par décantation jusqu'à disparition du potassium dans les eaux de lavage. Délayé dans de l'eau, il a été introduit ensuite dans une grande cornue tubulée, et distillé à la vapeur d'eau pure. Cet iode, après avoir été égoutté, a été exposé sous une cloche contenant de l'azotate de chaux desséché. L'azotate de chaux a été renouvelé tant qu'il s'est humecté. Ce sel de chaux a été la seule matière que j'aie pu découvrir pour sécher l'iode sans lui communiquer des impuretés.

L'iode, desséché aussi bien que possible, a été mêlé de cinq pour cent de son poids de protoxyde de baryum pur finement pulvérisé et soumis à la distillation sèche. Il a été reçu dans une cornue tubulée qui servait de récipient et qui contenait aussi du protoxyde de baryum pur finement pulvérisé; il a été rectifié une deuxième fois, en condensant sa vapeur dans une cornue vide. C'est de cette cornue que je l'ai distillé directement dans les vases où je l'ai pesé, pour le combiner ensuite à l'argent, après l'avoir dissous, comme je le dirai plus bas. En distillant l'iode sur du protoxyde de baryum, j'avais un double but : je voulais *le priver de l'eau qu'il retient avec une grande opiniâtreté, ainsi que de l'acide iodhydrique.*

B. *Iode préparé par la décomposition de la diiodamine suspendue dans de l'eau.* — Je désigne sous le nom de *diiodamine* le produit fulminant obtenu par l'action de l'iode sur l'ammoniaque dissoute et froide, et connu généralement sous le nom d'*iodure d'azote.*

J'ai préparé une telle quantité de diiodamine, que j'ai été obligé de sacrifier au delà de dix kilogrammes d'iode à cette opération. J'ai employé à cet effet de l'iode provenant de trois sources différentes : 1° l'iode du commerce; 2° l'iode obtenu en distillant une solution d'iode dans l'iodure de potassium dissous; 3° l'iode précipité, par l'eau, d'une solution de ce corps dans l'iodure de potassium. Le résultat final a été le même.

Pour préparer et décomposer ensuite la diiodamine, j'ai pris les dispositions suivantes :

Je fais réduire en poudre la quantité d'iode sur laquelle je veux opérer, et qui, presque toujours, a été de *cinq cents grammes à la fois.* J'ajoute

de l'ammoniaque pure, la plus concentrée possible, en agitant continuellement l'iode, jusqu'à ce que le liquide, d'abord d'un brun très-foncé, soit devenu à peu près incolore. Je verse ensuite dans un grand entonnoir effilé une partie de la solution d'iodure d'ammonium formé, tenant la diiodamine en suspension, et je filtre le restant du liquide décanté au travers de ce tampon de diiodamine. Je lave par décantation la diiodamine restée dans le vase, en employant à cet effet une solution concentrée et froide d'ammoniaque. Les liquides de lavage, quelque abondants qu'ils soient, sont incolores tant qu'on se sert d'ammoniaque *concentrée*, parce que la diiodamine ne s'altère point à la température ordinaire en présence de cette solution.

Lorsque la matière eut été suffisamment lavée, par décantation, de l'iodure d'ammonium qu'elle contient, je l'ai versée dans l'entonnoir, et j'ai laissé écouler le plus possible l'ammoniaque. J'arrose ensuite la matière d'eau froide; de sensiblement noire qu'elle est, elle devient brunâtre, et l'eau de lavage se colore d'abord en jaune et finalement en brun orangé. Ce liquide, dans ce cas, renferme de l'iodure ioduré d'ammonium. Dans cet état, la diiodamine, abandonnée à la dessiccation spontanée, détonne ensuite par le simple contact; mais, *délayée dans une grande quantité d'eau avant sa dessiccation*, elle se décompose spontanément à la longue, ou bien elle peut être détruite rapidement *par une température convenable*, sans que sa décomposition présente le moindre danger. Cette dernière affirmation étonnera peut-être les chimistes; mais, d'après mon expérience, on a singulièrement exagéré les propriétés fulminantes de la diiodamine *humide*. Ainsi, quoique j'en aie manié plusieurs kilogrammes, je n'ai jamais eu le moindre accident avec cette *substance humide*, en la broyant à la température ordinaire dans un mortier avec un pilon de verre.

A la température ordinaire, il faut un mois à six semaines pour obtenir la décomposition spontanée et à peu près complète de deux cent cinquante grammes de diiodamine sous l'eau, en faisant même intervenir l'influence de la lumière, qui l'accélère sensiblement. J'ai effectué rapidement cette décomposition de la manière suivante :

Je délaie la diiodamine dans dix fois environ son poids d'eau contenue dans

un ballon suffisamment spacieux. Je fixe celui-ci dans un grand bain d'eau, placé à l'air libre, sur un fourneau; j'élève lentement la température de l'eau au degré auquel commence la décomposition rapide de la diiodamine. J'ai constaté que ce point est compris entre 50 et 60° du thermomètre centigrade. A 70°, la décomposition est tumultueuse; à 80°, elle est tellement rapide que la matière risque de sortir du vase si la capacité de celui-ci n'est pas au moins triple de celle du mélange. La diiodamine humide et intacte détonne violemment lorsqu'on la projette dans de l'eau bouillante.

Dans toutes les opérations que j'ai exécutées, j'ai fait tous mes efforts pour maintenir la température entre 60 et 65°; aussi, en me plaçant dans ces conditions, je n'ai eu aucune explosion : il se produit une tuméfaction de la masse par suite du dégagement de gaz qui a lieu. Je dis qu'en observant ces conditions je n'ai pas eu un seul accident; j'en avais eu, au contraire, un grand nombre, avant d'être parvenu à régulariser ce mouvement de décomposition.

Lorsque, vers la température de 60 à 65°, la tuméfaction est entièrement passée, j'élève la température du bain jusqu'à 100°, pour détruire une petite quantité de diiodamine qui échappe constamment à la décomposition, et qui m'a occasionné des accidents avant que j'eusse connaissance de la possibilité de ce fait.

Les produits de la décomposition de la diiodamine sont complexes : il se forme, outre le gaz dégagé, de l'iode cristallisé, une solution d'iode dans l'iodure d'ammonium, et un autre sel d'ammonium, blanc, explosif, excessivement peu soluble dans l'eau froide, assez soluble dans l'eau bouillante. Je crois que ce sel blanc est de *l'iodate d'ammonium*.

Pour séparer l'iode, j'ai versé dans un entonnoir effilé la bouillie provenant de la décomposition de la diiodamine. J'ai lavé ensuite à l'eau pure l'iode mêlé au sel blanc. Après le lavage, j'ai délayé le tout dans une nouvelle quantité d'eau, et j'ai procédé à la volatilisation de l'iode à l'aide de la vapeur d'eau. Le sel blanc reste dans la cornue avec une partie de l'eau. Ce sel se décompose à une température peu supérieure à 100°, en produisant une légère explosion et en donnant d'abondantes vapeurs d'iode et des gaz permanents.

L'iode volatilisé à la vapeur est lavé à l'eau, et, après avoir été égoutté autant que possible, il est séché sous une cloche avec de l'azotate de chaux convenablement renouvelé.

Après sa dessiccation, je l'ai distillé deux fois avec du protoxyde de baryum pur finement pulvérisé, et je l'ai enfin distillé une troisième fois, seul, et directement dans le vase où il devait être pesé et employé.

En soumettant à une douce ébullition le liquide d'où l'iode s'est déposé lors de la décomposition de la diiodamine, il se dégage encore une petite quantité d'iode pur. Il reste enfin une solution d'iodure d'ammonium qu'on peut obtenir tout à fait incolore, en le chauffant convenablement dans un courant d'anhydride carbonique sec.

La quantité d'iode obtenue par la décomposition de la diiodamine a été toujours de beaucoup inférieure à celle qui correspond à sa composition, en supposant que la chaleur décompose la diiodamine en iodure d'ammonium, iode et azote.

L'iode, produit ainsi, diffère notablement, par son aspect, de celui du commerce. Après avoir été fondu dans un tube de verre, il est absolument noir à l'état liquide et solide; à la température ordinaire, il n'émet aucune vapeur visible dans l'air. Sa vapeur *saturée* est d'un *bleu* intense, depuis le point de l'ébullition de l'iode jusqu'à la température la plus élevée à laquelle j'ai pu l'observer dans des tubes de verre réfractaires étroits; tandis que sa vapeur *non saturée* est violette ou violacée, ou d'un rouge très-légèrement violacé.

On admet généralement que le point de fusion de l'iode est 107°, et que son point d'ébullition est compris entre 175 et 180°. L'iode de la diiodamine est encore solide à 113°; mais il est liquide à 115°, et ne bout pas encore à 200°. Du reste, la crainte d'altérer une matière dont la production m'avait coûté tant de peine m'a empêché de faire des déterminations exactes des points de fusion et d'ébullition de l'iode.

Des moyens employés pour effectuer la combinaison d'un poids déterminé d'iode avec un poids déterminé d'argent.

J'ai procédé, à l'aide de deux méthodes différentes, à la combinaison d'un poids déterminé d'iode avec un poids déterminé d'argent. Je vais exposer successivement chacune de ces méthodes.

PREMIÈRE MÉTHODE.

La première consiste à faire réagir directement, au sein d'une atmosphère d'anhydride carbonique, l'iode pesé sur l'argent transformé en sulfate, ce sel étant en partie dissous, en partie suspendu dans de l'eau acidulée de dix pour cent de son poids d'acide sulfurique, et mélangée ensuite d'une quantité convenable d'acide sulfureux titré.

L'iode se dissout lentement et passe directement à l'état d'iodure d'argent.

J'ai fait deux synthèses par cette méthode : les nos I et II du tableau en présentent les résultats. J'ai exécuté ces expériences de la manière suivante :

Ayant soufflé au bout d'un tube une boule assez spacieuse, à parois très-minces, et après en avoir convenablement séché l'atmosphère, j'y ai distillé directement de l'iode. Par un léger choc, j'ai cassé la boule, j'ai détaché le culot d'iode, et, à l'aide de quelques coups donnés avec un pilon d'agate, je l'ai divisé en plusieurs fragments. Ces fragments encore chauds ont été introduits dans un tube de verre bouché par un bout, et muni à l'autre bout d'un bouchon usé soigneusement à l'émeri; le poids de ce tube plein d'air sec était déterminé d'avance. Le tube plein d'iode étant refroidi sous une cloche contenant de l'air desséché par la présence de l'acide sulfurique, je l'ai débouché un seul instant pour équilibrer la pression interne avec la pression externe, et je l'ai pesé de nouveau.

D'après le poids de l'iode constaté, que j'ai réduit au vide, j'ai calculé le poids de l'argent qui lui correspond en prenant, d'après l'hypothèse de Prout, 127 pour le poids atomique de l'iode et 108 pour le poids atomique de l'argent. D'après les synthèses de M. Marignac et les deux synthèses par *différence* que j'ai données plus haut, et d'après le résultat obtenu par M. Dumas sur la transformation d'un poids donné d'iodure d'argent en chlorure de ce

métal, la composition de l'iodure d'argent doit pouvoir se représenter par ces nombres ou du moins par des nombres qui s'en rapprochent de très-près.

Pour opérer la transformation de l'argent en sulfate, je l'ai dissous d'abord dans l'acide azotique dilué, j'ai évaporé jusqu'à siccité la solution d'azotate acide, j'ai converti l'azotate sec en sulfate acide, et celui-ci a été chauffé avec du sulfate acide d'ammonium, afin d'éliminer tous les composés azotés qu'il pourrait retenir. Ces différentes opérations ont été effectuées dans l'appareil que j'ai figuré et décrit p. 124 et suivantes, en prenant absolument les mêmes précautions pour ne pas perdre la moindre trace de l'argent pesé. L'inspection des résultats obtenus prouvera d'ailleurs les soins infinis que j'ai pris pour réaliser scrupuleusement toutes les conditions.

J'ajoute ensuite de l'eau bouillante au mélange de sulfate d'argent, d'acide sulfurique et de sulfate d'ammonium non décomposé, et je chauffe pour amener le sel à l'état de solution. Je verse la solution dans un grand flacon bouché à l'émeri, rempli d'anhydride carbonique dégagé du carbonate monosodique par la chaleur seule, je lave soigneusement le ballon à l'eau chaude, et je réunis les eaux de lavage au liquide du flacon. La solution argentifère étant *complétement refroidie,* ou plutôt ramenée vers 10°, j'y ajoute de l'acide sulfurique concentré et pur, *jusqu'à ce que le liquide soit assez acidulé pour ne plus précipiter par une solution saturée d'anhydride sulfureux.* Arrivé à ce moment, j'y verse une quantité de solution *titrée* d'acide sulfureux capable de réduire à l'état d'acide iodhydrique tout l'iode que j'ai pesé pour l'expérience. Ce résultat étant atteint, j'introduis avec les précautions nécessaires l'iode dans le flacon. Je lave à l'eau faiblement acidulée par de l'acide sulfureux le tube dans lequel l'iode a été renfermé; cette eau étant ajoutée au liquide, je fais passer pendant quelque temps un courant d'anhydride carbonique pour éliminer complétement l'air du flacon, je bouche celui-ci hermétiquement en ayant soin de fixer solidement le bouchon, je l'entoure d'une double toile noire, et je le conserve pendant cinq à six jours dans la chambre obscure, en ayant la précaution d'agiter légèrement de temps à autre le mélange. L'iode passe lentement à l'état d'acide iodhydrique, et celui-ci transforme le sulfate d'argent en iodure. Tout l'iode disparaît si la quantité d'acide sulfureux employée a été suffisante.

La transformation accomplie, le liquide est resté trouble malgré l'agitation qu'il a subie pendant une heure entière.

Avant d'introduire le flacon dans le bain pour produire l'éclaircissement du liquide, je l'ai débouché afin de m'assurer si son atmosphère était *très-légèrement* sulfureuse. Dans le cas contraire, j'ajoutais de nouveau de la solution d'acide sulfureux, jusqu'à ce que le liquide répandît une odeur à peine sensible d'anhydride sulfureux.

DEUXIÈME MÉTHODE.

La deuxième méthode consiste à opérer la conversion d'un poids donné d'iode en iodure d'ammonium, à l'aide d'une solution titrée de sulfite d'ammonium mélangé d'une quantité d'ammoniaque dissoute, égale à celle qui a été employée pour produire le sulfate neutre d'ammonium lui-même. L'iode se dissout dans ce liquide avec développement de chaleur, en transformant le sulfite neutre en sulfate neutre d'ammonium, et en passant lui-même à l'état d'iodure d'ammonium. Le liquide reste absolument incolore et se conserve ainsi indéfiniment, tant qu'il reste la moindre trace de sulfite d'ammonium en excès [1].

$$2I + (H^4Az)^2 SO^3 + H^2O + 2(H^5Az) = (H^4Az)^2 SO^4 + 2(H^4AzI).$$

Pour me procurer la solution, je commence par saturer vers 0° de l'ammoniaque dissoute, pure, par de l'anhydride sulfureux pur. Je mêle à la solution de sulfite acide d'ammonium produit un volume de solution d'ammoniaque triple de celui que j'ai transformé en sel acide. Afin de connaître la quantité de cette liqueur nécessaire à la transformation de l'iode pesé pour une expérience, je détermine exactement son titre à l'aide de l'iode lui-même. En l'absence de l'oxygène, le sulfite ammoniacal d'ammonium est stable; il n'en est

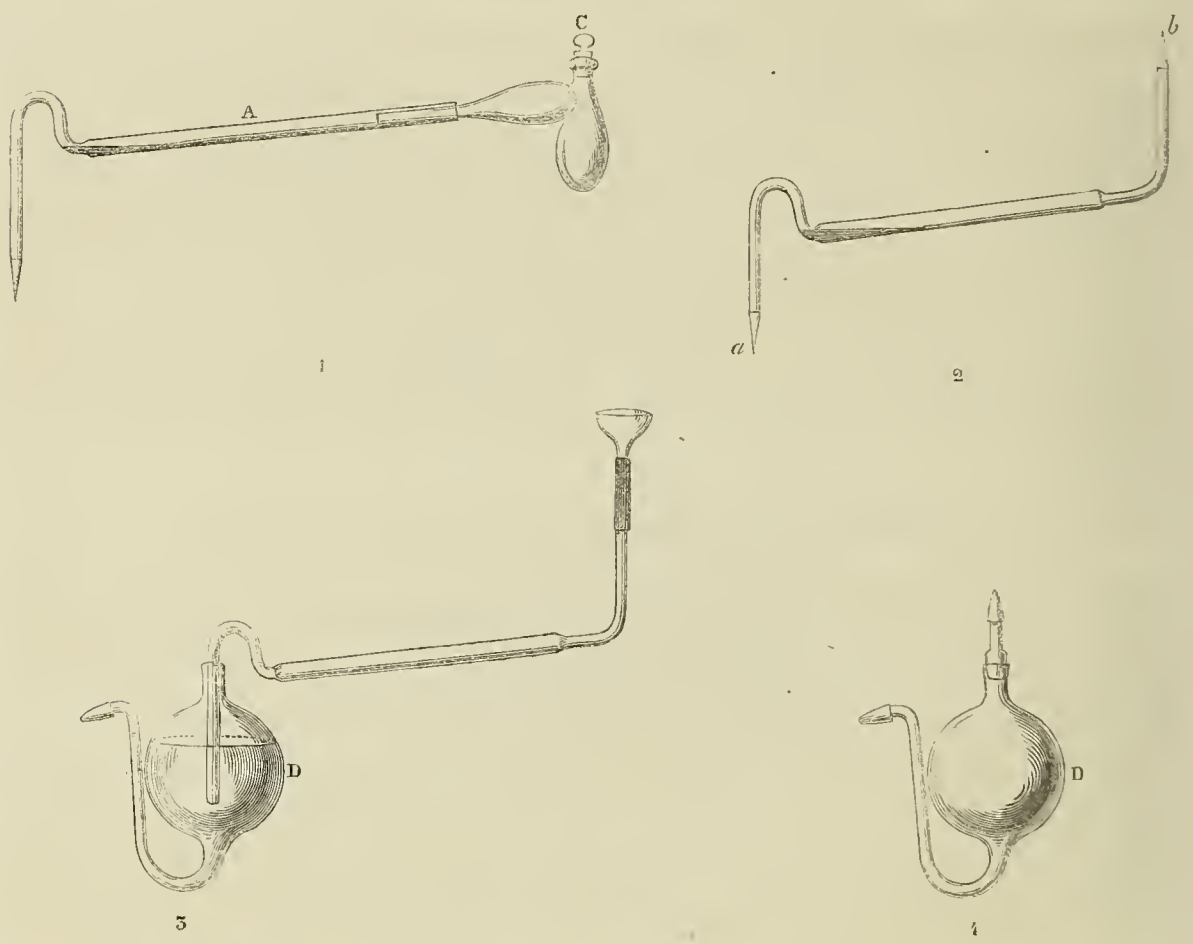
[1] Quoique les sulfites neutre et acide d'ammonium dissolvent également bien l'iode en le transformant en acide iodhydrique, on ne peut cependant pas se servir de ces deux sels en remplacement du sulfite ammoniacal d'ammonium. En effet, l'acide iodhydrique réduit avec une énergie très-grande les sulfites d'ammonium. Il faut donc qu'il y ait toujours de l'ammoniaque à côté du sulfite, pour que de l'acide iodhydrique ne puisse point devenir libre et déterminer une précipitation de soufre ou la formation du sulfure d'argent.

pas de même du sulfite *acide* : le titre de celui-ci m'a paru s'altérer très-sensiblement sous l'influence de la lumière.

J'ai fait quatre synthèses à l'aide de cette dernière méthode : pour l'une d'elles, l'iode a été distillé dans un tube dans lequel j'ai fait ensuite le vide; pour les trois autres, l'iode a été distillé dans un appareil dont je donne le dessin ci-après.

Pour peser l'iode dans le vide, j'ai pris les dispositions suivantes :

Fig. 13.



Dans un tube A (*fig.* 1), j'ai distillé de l'iode à l'aide de la cornue C. Lorsque la quantité d'iode jugée nécessaire était condensée dans le tube A, j'ai enlevé la cornue B, et j'ai porté le tube devant la lampe à gaz, où je l'ai effilé et courbé de manière à lui donner la forme indiquée à la *fig.* 2. J'ai fait passer ensuite de l'air sec au travers du tube, et je l'ai fermé en *a*, en fon-

dant le verre. A l'aide d'un tube de caoutchouc, la branche ascendante a été mise en communication avec une pompe pneumatique, et j'ai fait le vide aussi exactement que possible. Je l'ai fermé en *b* en fondant le verre. Après avoir fait un trait avec un diamant près des deux bouts effilés du tube, j'ai pesé l'appareil avec l'iode qui y était contenu.

J'ai brisé les extrémités des tubes pour laisser pénétrer l'air sec, et j'ai pesé une deuxième fois le système. Le tube descendant a été plongé dans un appareil à boule D (*fig.* 3), renfermant de l'eau, de l'ammoniaque et du sulfite d'ammonium, et j'ai adapté, à l'aide d'un tube en caoutchouc, un entonnoir E sur le tube ascendant, comme le montre la *fig.* 3, p. 144.

J'ai versé lentement par l'entonnoir la solution ammoniacale de sulfite d'ammonium titrée, qui, en pénétrant dans le tube, a déterminé instantanément la dissolution de l'iode, quoique celui-ci fût sous forme d'un culot fondu. J'avais fondu l'iode pour le priver de l'air qu'il aurait pu condenser. Le liquide, qui était resté incolore tant qu'il a renfermé du sulfite d'ammonium intact, s'est rapidement coloré par suite de la solution d'iode dans l'iodure d'ammonium formé. J'ai déplacé cette solution en versant de nouveau, par l'entonnoir, de la solution ammoniacale de sulfite d'ammonium. L'iodure d'ammonium ioduré, en pénétrant dans la solution ammoniacale de sulfite d'ammonium contenue dans l'appareil à boule, s'est transformé en iodure d'ammonium. De cette manière, j'ai évité de perdre une trace d'iode. Lorsque tout l'iode contenu dans le corps du tube a été dissous, j'y ai fait passer de l'eau distillée en quantité suffisante pour effectuer un lavage parfait. Toutes les eaux de lavage du tube ont été réunies dans l'appareil à boule D.

Le tube étant bien lavé, je l'ai pesé *plein d'eau* et *plein d'air sec*, en tenant compte des bouts détachés, de la température et de la pression; du poids de l'appareil vide d'air, mais contenant de l'iode, plein d'air sec et avec l'iode, plein d'air sec sans iode, enfin plein d'eau, j'ai déduit le poids de l'iode pesé dans le vide et pesé dans l'air, et j'ai constaté, qu'après les corrections, ces poids sont identiques à $0^{gr},0004$ près.

	gram.
La pesée de l'iode, faite dans le vide, a été	44,7599
Tandis que la pesée de l'iode dans l'air, corrigée de la différence du poids de l'air déplacé par l'iode et par les poids de platine, a été de	44,7605

L'identité des résultats m'a déterminé à peser directement dans l'air l'iode fondu que j'ai employé pour les trois autres synthèses. A cet effet, j'ai distillé directement dans l'appareil à boule D, pesé d'avance, la quantité d'iode que je voulais utiliser dans mes expériences. Après avoir fait passer pendant quelque temps de l'air sec dans l'appareil, je l'ai fermé avec des bouchons de verre rodés, comme le montre la *fig. 4*, et je l'ai pesé une deuxième fois.

Pour convertir l'iode en iodure d'ammonium, après avoir enlevé les bouts des tubes qui servent de bouchons, j'ai mis le tube supérieur en communication avec un appareil de Liebig contenant une solution ammoniacale de sulfite d'ammonium, et, à l'ouverture du tube ascendant, j'ai adapté un petit entonnoir à l'aide d'un tube en caoutchouc. J'ai versé par l'entonnoir une quantité suffisante de solution ammoniacale de sulfite d'ammonium titrée. La dissolution de l'iode étant ainsi opérée, j'ai versé le liquide dans un grand flacon bouché à l'émeri, contenant déjà un poids d'argent pesé dans le rapport de 127 à 108, et dissous à l'état de sulfate *très-acide* d'argent; après avoir bouché hermétiquement le flacon, et l'avoir enveloppé d'une double toile noire, j'ai fait secouer son contenu *pendant une heure* dans une chambre obscure. Cette agitation prolongée est indispensable pour transformer en iodure le sulfate d'argent entraîné par l'iodure de ce métal. Malgré cette longue agitation, le liquide ne s'éclaircit point : j'ai été obligé de placer le flacon dans un bain d'eau, dont j'ai élevé lentement la température jusqu'à ce qu'il fût devenu absolument limpide.

Quelle que soit la méthode employée pour rendre l'iode soluble, la combinaison de ce corps avec l'argent étant effectuée, le restant de l'opération de la synthèse se réduit à une simple question de détermination du titre d'un liquide, qui peut renfermer, soit de l'iode, soit de l'argent, et dans des conditions où la recherche peut se faire avec une rapidité exceptionnelle, à cause de l'élévation de la température.

Si le rapport proportionnel de l'iode à l'argent est comme 127 à 108, il est bien évident que tout l'iode et tout l'argent doivent avoir disparu, et que le titre du liquide doit être 0; le poids de l'iodure formé doit être égal à la somme des poids de l'iode et de l'argent employés. Si, au contraire, le

rapport proportionnel de l'iode est plus petit que 127, comme les synthèses concordantes de M. Marignac et celles que je viens de faire connaître plus haut semblent l'indiquer, il faut qu'une certaine quantité d'iode soit restée dans le liquide, et que le poids de l'iodure d'argent qui a pris naissance soit *moindre* que la somme des poids de l'iode et de l'argent mis en expérience.

J'ai donc soumis à un essai rigoureux chacun des liquides limpides surnageant l'iodure d'argent. A cet effet, pendant que les flacons étaient encore dans le bain qui a servi à provoquer l'éclaircissement du liquide, j'ai fait passer un faisceau de lumière jaune à la surface du liquide, par le moyen que j'ai exposé en détail pour l'essai de l'argent. J'ai procédé ainsi au dosage de l'iode par l'addition d'une quantité proportionnelle d'argent. On verra, en examinant les données inscrites au tableau qui termine cette notice, que j'ai trouvé, dans chaque liquide, de l'iode à l'état d'acide iodhydrique, et dont le poids, par rapport à 100,000 d'argent, n'a pas été moindre que *cinquante* ni supérieur à *soixante-trois*.

Pour rendre les synthèses complètes, j'ai lavé par décantation et à chaud l'iodure d'argent produit dans chaque expérience, sauf une, et je l'ai introduit ensuite dans un appareil à boule, identique à celui que j'ai figuré page 18. Après l'avoir soigneusement séché, je l'ai pesé. J'ai mis à chacune de ces opérations si délicates les soins minutieux qu'elles réclament pour arriver à un résultat exact. Je ne rappellerai pas ici ces précautions; je suis entré dans des détails suffisants sur ce sujet, en parlant de la deuxième synthèse par *différence* de l'iodure d'argent.

Quoique j'aie retrouvé dans l'iodure d'argent produit la somme des poids de l'iode et de l'argent employés, j'ai voulu néanmoins isoler l'iodure d'argent qui prend naissance par l'union directe de ces deux corps, pris dans le rapport de 127 à 108, et j'ai voulu déterminer directement le poids de l'iodure de ce métal, que l'on peut obtenir à l'aide de l'acide iodhydrique qui, dans ce cas, reste dans le liquide limpide. J'ai fait pour cela une dernière synthèse; je donnerai tous les détails de cette expérience; ils permettront de juger de la confiance que méritent les autres résultats.

J'ai distillé de l'iode de la diiodamine, dans l'appareil à boule pesé où il devait être transformé en iodure d'ammonium.

Le poids de cet iode dans l'air était $96^{gr},7775$, représentant $96^{gr},7964$ d'iode dans le vide. J'ai pesé ensuite $82^{gr},318$ d'argent dans l'air, représentant $82^{gr},3235$ d'argent dans le vide, nombres qui sont entre eux comme 127 : 108.

L'argent ayant été transformé en sulfate, par le moyen que j'ai fait connaître, j'ai versé la solution de ce sulfate, avec les eaux de lavage du ballon, dans un flacon dont j'avais déterminé la capacité en le pesant plein d'air et plein d'eau. Sa capacité était de 3156,3 centimètres cubes, à 15°. J'ai précipité la solution d'argent par l'iodure d'ammonium provenant de l'iode pesé. Les eaux de lavage de l'appareil à boule étant réunies dans le flacon, je l'ai bouché, et après l'avoir enveloppé d'une double toile noire, je l'ai fait secouer pendant *trois heures*. Au bout de ce temps, je l'ai débouché après avoir ajouté de l'eau pour le remplir presque complétement, je l'ai placé dans un bain d'eau pour déterminer l'éclaircissement du liquide opalin et la contraction de l'iodure d'argent. Il a été ensuite abandonné au refroidissement. Lorsque la température du bain fut arrivée à 15°, j'ai achevé de remplir complétement le flacon d'eau distillée, et, après l'avoir bouché de nouveau, j'ai agité le tout. Lorsque, par le repos, le liquide se fut éclairci, j'ai soustrait 2019,7 centimètres cubes du liquide, à l'aide d'un siphon en communication avec un mesureur dont la capacité était de $504^{cc},922$, et je les ai versés dans un vase à précipité soigneusement pesé.

L'eau servant au lavage du siphon et du mesureur a été ajoutée au liquide resté dans le flacon. La capacité totale du flacon étant de 3156,3 centimètres cubes, et le volume de l'iodure d'argent produit étant de 31,7 centimètres cubes, il résulte de ces deux données qu'il est resté dans le flacon 1098,9 centimètres cubes du liquide primitif.

Ayant porté de nouveau le flacon dans le bain d'eau pour élever sa température à 68°, j'ai déterminé, à l'aide d'une solution normale de sulfate d'argent dissous dans l'acide sulfurique, la quantité d'iode qui y était à l'état d'acide iodhydrique. J'ai trouvé que les $1098,9^{cc}$ de liquide exigent de 13 à 13,1 centimètres cubes de solution d'argent, d'où il résulte qu'ils renferment $0^{gr},0154$ d'iode à l'état d'acide iodhydrique. Le volume total du liquide devait donc contenir $0^{gr},0434$ d'iode non combiné à l'argent. Pour m'assurer de l'exactitude

de l'essai, il m'a fallu ajouter *en plus* $0^{gr},00125$ d'argent et $0^{gr},0013$ d'iode pour précipiter cet argent, quantités qui sont venues augmenter respectivement le poids de l'argent et de l'iode intervenus dans l'expérience.

J'ai procédé ensuite aux opérations nécessaires pour recueillir et peser l'iodure d'argent qui a pris naissance, ainsi qu'à la détermination du poids de l'iodure d'argent que peuvent fournir les 2019,7 centimètres cubes de liquide soustraits.

Voici les données de ces deux recherches :

Les 2019,7 centimètres cubes de liquide avaient été reçus dans un vase à précipité, couvert d'une glace, dont le poids était de $223^{gr},1034$. J'y ai ajouté une solution de $0^{gr},100$ de sulfate d'argent, et j'ai élevé le mélange jusqu'à la température de 55 à 60° vers laquelle il s'est éclairci complétement. Après deux jours de repos dans l'obscurité, j'ai décanté le liquide limpide et j'ai procédé au lavage du vase et de l'iodure d'argent.

	gram.
Après la dissiccation du vase à 110° et son refroidissement, son poids, équilibré par un vase de même verre et de même dimension, a été de	225,1550
Je l'ai lavé au cyanure de potassium et à l'eau pour dissoudre l'iodure d'argent, et, après l'avoir séché sans l'essuyer, j'ai trouvé son poids. . .	225,1058
Et le lendemain	225,1040
Il contenait donc : iodure d'argent.	0,0510
Représentant : iode.	0,0275
D'après l'essai fait par la voie humide, il devait être resté : iode. . . .	0,0290

Les poids de l'iodure d'argent qui s'est produit aux dépens de l'argent pesé, et de celui qui a été ajouté pendant la détermination du titre de la fraction de liquide restée dans le flacon, ont été déterminés à l'aide des éléments suivants :

	gram.
Poids du ballon à deux pointes et du vase à précipité	748,9260
Poids des mêmes appareils contenant l'iodure séché d'abord pendant quatre heures à 100°, et pendant huit heures à 190°, après trois heures de refroidissement	928,0050
Poids des mêmes appareils, le lendemain	928,0040
Poids des mêmes appareils chauffés de nouveau pendant cinq heures à 200°, après trois heures de refroidissement	928,0025
Poids des mêmes appareils, le lendemain	928,0038
D'où il résulte que le poids dans l'air de l'iodure d'argent est.	179,0780
Et que, réduit au vide, il est	179,1080

Si je compare ce poids à la somme des poids de l'argent et de l'iode employés, j'arrive aux résultats suivants :

	gram.	
Poids réel de l'argent primitivement employé	82,5251	
Poids de l'argent employé pour la précipitation de l'iode contenu, à l'état d'acide iodhydrique, dans le liquide resté avec l'iodure d'argent	0,0150	
Poids de l'argent employé pour m'assurer de l'exactitude de l'essai	0,00125	
Poids total de l'argent		82,55755
Poids de l'iode pesé.	96,7965	
Poids de l'iode ajouté pour la précipitation de l'argent . . .	0,0015	
Poids total de l'iode		96,7977
Somme des poids de l'argent et de l'iode		179,1550
D'après les données inscrites plus haut, on voit que le poids de l'iodure recueilli a été de		179,1080
Il y a donc une différence de		0,0270
Cette différence représente le poids de l'iode contenu dans le liquide que j'ai soustrait; or, j'ai trouvé par l'essai de la voie humide que la quantité d'iode existant dans le volume de liquide soustrait était égale à .		0,0290
Et la détermination des poids de l'iodure d'argent produit par cet iode a démontré qu'il en renferme *réellement*.		0,0275

La synthèse a donc été complète. J'ai retrouvé avec une exactitude inespérée le poids des éléments que j'avais mis en expérience.

Avant de faire connaître les données numériques des six synthèses que j'ai exécutées, il me reste à m'expliquer sur un point.

En examinant les données inscrites au tableau qui termine cette notice, on s'aperçoit que, sur six synthèses, j'ai mis *deux fois* seulement en expérience des quantités très-considérables d'iode et d'argent ; pour les quatre autres, les quantités ont été relativement beaucoup moindres. En voici le motif : s'il n'y a aucune difficulté sérieuse à faire une synthèse par somme en se servant de quantités considérables de matières, il y en a au contraire d'énormes pour rendre la synthèse complète. Cette difficulté réside dans ce fait, que l'iodure d'argent produit au sein d'un liquide fortement acidulé par l'acide sulfurique, retient de cet acide avec une ténacité extrême.

Cependant l'élimination complète de l'acide, par la *voie de lavages*, est d'une

nécessité absolue ; sans cela, lors de la dessiccation de l'iodure, de l'iode est mis en liberté par suite de la réaction de l'acide sulfurique qui se concentre, et l'opération est perdue, parce que l'expérience m'a démontré qu'il est impossible de ramener à l'état d'iodure, par de l'acide iodhydrique, le sulfate d'argent qui s'est produit. J'ai donc été obligé d'exécuter le lavage à une température élevée et dans une chambre obscure, à cause de la présence de traces d'acide sulfureux qui, sous l'influence de la lumière, altère lentement l'iodure d'argent. De plus, pour empêcher le délayement de l'iodure et la production d'un liquide laiteux, dont l'éclaircissement est lent et pénible, j'ai été forcé de continuer jour et nuit le lavage à *une température toujours légèrement croissante*, jusqu'à ce qu'il eût été complétement achevé. Or, quelque célérité qu'on mette dans cette opération, dès que le poids de l'iodure dépasse une centaine de grammes, elle exige un travail presque continu de cinquante-six à soixante heures, dans une chambre obscure, dont l'air s'échauffe et devient humide par les vapeurs dégagées du bain-marie qui s'y trouve. On conçoit qu'un pareil travail dépasse bientôt les forces de l'homme, et qu'il est impossible de le répéter un grand nombre de fois.

L'iode employé dans les synthèses inscrites sous les n^{os} I, III, IV et VI, provient de la décomposition de la diiodamine. Pour les n^{os} I et VI, la diiodamine employée avait été préparée à l'aide de l'iode du commerce ; pour le n° III, la diiodamine provenait de l'action de l'ammoniaque sur l'iode obtenu en distillant une solution de ce corps dans l'iodure de potassium, et enfin pour le n° IV, la diiodamine avait été préparée avec l'iode précipité, à l'aide de l'eau, d'une solution de ce corps dans l'iodure de potassium. Les résultats ont été du reste identiques.

SYNTHÈSES PAR SOMME ET SYNTHÈSES COMPLÈTES DE L'IODURE D'ARGENT.

Nos D'ORDRE.	POIDS de l'iode dans l'air.	POIDS de l'iode dans le vide	POIDS de l'argent dans l'air.	POIDS de l'argent dans le vide.	POIDS de l'argent ajouté pour la précipitation de l'iode resté à l'état d'acide iodhydrique.	POIDS de l'iode correspondant à l'argent ajouté.	SOMME des poids de l'iode et de l'argent employés	POIDS dans l'air de l'iodure d'argent produit.	POIDS dans le vide de l'iodure d'argent produit.	RAPPORT proportionnel entre l'iode et l'argent d'après les poids d'iode et d'argt employés. — 100,000 d'argent correspondant à iode.	RAPPORT proportionnel entre l'iode et l'argent d'après le poids de l'iodure d'argent recueilli.
	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.		
I.	32,4600	32,4665	27,6805	27,6092	0,0131	0,0151	60,0888	60,076	60,0860	117,5390	117,529
II.	46,8189	46,8282	39,8189	39,8223	0,0182	0,0214	86,6687	86,6500	86,6653	117,5380	117,531
III.	28,7495	28,7552	24,4518	24,4532	0,0117	0,0129	53,2201	00,000 [1]	00,0000	117,5318	000,000 [1]
IV.	44,7603	44,7599 [2]	38,0598	38,0620	0,0175	0,0200	82,8394	82,8245	82,8375	117,5430	117,539
V.	160,2430	160,2752	136,2870	136,2952	0,0595	0,0700	296,6300	296,5750	296,6240	117,5420	117,538
VI.	96,777	96,7964	82,3231	82,3231	0,0370	0,0434	179,1595	179,129	179,1590	117,5300	117,530
								MOYENNE.		117,5371	117,5335

[1] Je ne me suis pas donné la peine de recueillir l'iodure d'argent produit; les poids d'argent et d'iode employés ayant été relativement faibles.

[2] La pesée de l'iode a été faite dans l'air et dans le vide. (Voir le texte.)

Toutes les pesées ont été faites à l'aide de poids de platine.

Ces expériences établissent que l'iode et l'argent mis en présence à l'état dissous, dans les rapports de 127 à 108, ne se combinent pas intégralement comme ils devraient le faire si les poids atomiques de ces deux corps étaient respectivement représentés par le rapport de 127 et 108. Il est resté, en effet, une portion de l'iode non combinée à l'argent qui est égale à la *deux mille centième* partie de la quantité employée. Cette portion, quelque minime qu'elle paraisse, est néanmoins aussi constante que la masse qui est entrée en combinaison avec l'argent. *Il est impossible d'attribuer l'écart constaté à une erreur constante dans l'observation, car j'ai retrouvé, dans le poids de l'iodure d'argent produit, les poids de l'iode et de l'argent mis en expérience.*

Le doute n'est donc pas possible sur la composition de l'iodure d'argent que j'ai formé de toutes pièces. Pour prétendre que sa composition puisse être représentée par le rapport de 127 à 108, il faudrait prouver que l'iode que j'ai uni à l'argent renferme une quantité constante d'un corps halogène inconnu, et, de plus, que l'iodure d'argent produit par M. Marignac et par M. Dumas contenait exactement la même matière étrangère et dans les mêmes rapports, ce qui revient à dire que l'iode que j'ai obtenu et l'iode contenu dans l'iodure d'argent ne sont pas des corps indécomposables. En effet, les résultats des synthèses complètes s'accordent, non-seulement avec les deux synthèses par différence consignées plus haut, mais ils se confondent absolument avec les expériences faites par M. Marignac il y a plus de vingt années, et que, d'après son expérience personnelle, M. Dumas a considérées avec raison comme étant d'une *perfection absolue*.

A cette époque, M. Marignac a trouvé que

gram.			gram.		
15,000	d'argent produisent.	. . . . .	32,625	d'iodure d'argent.	
14,790	—	—	32,170	—	—
18,545	—	—	40,359	—	—
48,335	d'argent produisent.	. . . . .	105,154	d'iodure d'argent.	

D'où il résulte que 100,000 grammes d'argent produisent 217,5335 d'iodure d'argent réduit au vide.

Or, mes synthèses par différenee m'ont donné en moyenne. .	217,5325
Mes synthèses par somme donnent.	217,5371

Et mes synthèses complètes donnent. 217,5554
Tandis que le rapport de 127 à 108 déduit de l'hypothèse de Prout conduit à 217,5950

Résultat qu'il est absolument impossible de concilier avec les expériences si concordantes, quoique faites à des époques si éloignées et par des méthodes si différentes.

III. — Nouvelles synthèses du bromure d'argent.

Les détails dans lesquels je suis entré, au sujet des synthèses de l'iodure d'argent, me permettent d'être bref dans l'exposé des synthèses du bromure de ce métal. On conçoit, en effet, que les principes que j'ai mis en pratique pour les unes sont applicables aux autres. J'ai exécuté une synthèse du bromure par différence et quatre synthèses complètes. Les résultats auxquels je suis arrivé coïncident absolument avec ceux trouvés, il y a vingt années, par M. Marignac.

1° *Synthèse par différence du bromure d'argent.*

Pour faire cette synthèse, j'ai appliqué à la dissolution de l'argent tous les moyens que j'ai indiqués pour la deuxième synthèse par différence de l'iodure d'argent, c'est-à-dire que j'ai dissous l'argent dans l'acide azotique dilué, en me servant de l'appareil décrit et en prenant toutes les précautions pour ne pas perdre une trace de l'argent pesé.

Après avoir dilué la solution de l'azotate d'argent d'une quantité d'eau distillée suffisante, je l'ai précipitée dans le ballon même, et à froid, par de l'acide bromhydrique *distillé* et *titré*.

Cet acide bromhydrique, je l'ai préparé de la manière suivante : cinq cents grammes de bromure de potassium, dépouillé d'iode par le moyen que j'expose plus loin, ont été dissous dans quatre litres d'eau. La solution a été précipitée à froid par son poids d'azotate d'argent pur, dissous dans deux litres d'eau. Le bromure d'argent produit a été agité pendant deux heures avec le liquide qui contenait les deux cinquièmes du bromure de potassium non décomposé. Après cette agitation, j'ai lavé le précipité jusqu'à dispari-

tion complète du potassium dans les eaux de lavages. J'ai versé ensuite, sur le bromure d'argent, deux cents centimètres cubes de solution saturée de bromure de potassium dépouillé de toute trace d'iode, et j'ai laissé le tout en contact pendant vingt-quatre heures, en ayant soin d'agiter le mélange de temps à autre. J'ai porté alors sa température jusqu'à 100°, et je l'ai maintenue pendant six heures. Il est bien évident que, par suite de ce traitement, tout le chlorure d'argent que le bromure aurait pu contenir devait être transformé en bromure d'argent, car M. Field a démontré, et j'ai soigneusement vérifié le fait, que le bromure de potassium décompose le chlorure d'argent et le ramène à l'état de bromure. J'ai procédé ensuite à un nouveau lavage du bromure jusqu'à la disparition *complète* du potassium, ce qui a été excessivement long à s'accomplir, quoique j'eusse eu soin d'exécuter le lavage à l'eau chaude.

Après le lavage, j'ai délayé le bromure d'argent dans un litre d'eau distillée, et j'ai soumis le tout à un courant lent d'acide sulfhydrique bien lavé, et produit à l'aide de l'action de l'acide sulfurique purifié sur du sulfure de fer, qui avait été fondu avec une petite quantité d'oxyde. Lorsque l'argent eut été transformé en sulfure, j'ai jeté le tout dans un grand entonnoir effilé, et j'ai recueilli le liquide limpide qui s'est écoulé. Après avoir agité celui-ci pendant quelques moments avec du bromure d'argent que j'avais réservé, pour éliminer l'acide sulfhydrique dissous, je l'ai soumis avec précaution à la distillation. Il s'est volatilisé d'abord un liquide peu acide; j'ai obtenu ensuite de l'acide bromhydrique *concentré* et *incolore*. En abritant sa vapeur de l'action de la chaleur, l'acide s'est distillé sans se colorer et sans laisser la moindre trace de résidu salin. J'ai conservé une partie de cet acide depuis quatre années sans qu'il se soit coloré, quoique le flacon qui le renferme n'en soit plus rempli qu'à moitié. Aussi je suis persuadé que l'acide bromhydrique concentré des laboratoires, qui se colore souvent par l'air, doit cette propriété à l'acide iodhydrique qui y est contenu.

Afin de ne pas employer de l'acide bromhydrique au delà de ce qui est nécessaire pour la précipitation de l'argent dissous, j'ai eu soin de déterminer préalablement son titre à l'aide du carbonate de sodium pur et séché. Un excès notable d'acide bromhydrique peut, en effet, déterminer la solution du bromure d'argent.

Le bromure d'argent produit à froid était tout à fait *blanc*. J'ai déterminé, par une agitation vive, l'éclaircissement du liquide qui était resté trouble, et je l'ai abandonné au repos dans la chambre obscure. J'ai procédé ensuite au lavage par décantation à l'aide de l'eau froide. Tant que le bromure a contenu une quantité appréciable d'acide, les eaux de lavages sont restées limpides; mais à mesure que le lavage s'achevait, le délayement du bromure s'est effectué, et il s'est produit un liquide laiteux. Pour terminer rapidement le lavage, j'ai eu recours à l'artifice suivant, que j'ai du reste été obligé de mettre en pratique pour toutes les synthèses du bromure et pour l'analyse du bromate et du chlorate d'argent, dont je parlerai plus loin. Cet artifice consiste à faire passer un courant de vapeur d'eau au travers du liquide devenu laiteux. A cet effet, je place le ballon, contenant ce liquide laiteux avec le bromure, dans un bain d'eau dont la température est portée à 50°, et j'engage *dans le liquide* [1] un tube en verre dur de Bohême, qui y conduit de la vapeur d'eau émanée de l'eau pure en ébullition dans un vase métallique. Par ce moyen, le liquide le plus laiteux s'éclaircit au bout de quelques minutes; je continue ainsi le lavage jusqu'à ce que l'eau décantée ne présente plus la moindre réaction acide. On reconnaît la fin de l'opération par la nécessité dans laquelle on est alors de porter le bain d'eau vers 90°, pour empêcher le délayement du bromure par l'eau.

J'ai dit plus haut que ce bromure produit était *blanc;* à mesure qu'il s'est contracté sous l'influence de la chaleur, il a pris une teinte *jaune* très-prononcée, et lorsque la température a été portée vers 60 à 70°, il a été d'un jaune beaucoup plus foncé que le jaune du soufre ou celui du citron. J'ai reconnu qu'on peut, à la température ordinaire, ramener le bromure de la modification blanche à la modification jaune foncé, en le mettant en contact

[1] On doit éviter de faire passer la vapeur au travers du bromure, pour ne pas en déterminer la contraction avant que le lavage de ce composé ne soit achevé. L'expérience m'a démontré en effet que le bromure, en se contractant dans un liquide contenant des matières étrangères, acides ou salines, emprisonne celles-ci; dans ce cas, le lavage, quelque prolongé qu'il soit, n'enlève pas complétement les corps entraînés. Le seul moyen d'arriver au dépouillement des matières étrangères au bromure accidentellement contracté consiste à provoquer le délayement de ce corps dans de l'*eau froide*, en produisant ainsi des liquides laiteux. On éclaircit ensuite ceux-ci par la vapeur d'eau, comme je l'expose dans le texte.

avec une solution d'un bromure alcalin. L'eau froide et pure, en déterminant le délayement du bromure jaune foncé, le fait revenir à l'état blanc très-légèrement teinté de jaune. La plupart des chimistes attribuent les propriétés physiques du bromure d'argent à l'iodure de ce métal et réciproquement.

Le lavage du bromure d'argent, pour être complet, exige des quantités d'eau beaucoup plus considérables encore que celui de l'iodure. Dans l'expérience que j'ai faite sur $53^{gr},1958$ d'argent, le volume total des eaux de lavages s'est élevé à 5686 centimètres cubes. Ces eaux, après avoir été longtemps maintenues à 100°, ont été abandonnées au repos pendant plusieurs jours; je les ai évaporées à l'air libre dans une capsule de porcelaine; elles ont laissé un résidu brun ferrugineux pesant $0^{gr},0085$, renfermant $0^{gr},0004$ de bromure d'argent.

Tout le bromure d'argent produit a été recueilli dans l'appareil à boule, décrit page 131 de la notice précédente, et après avoir été séché aussi parfaitement que possible, à 100°, il a été porté successivement de 150° à 180°, et maintenu à cette température jusqu'à ce que son poids ait été absolument constant; j'ai reconnu d'ailleurs que le bromure d'argent, une fois bien séché à 100°, peut être chauffé jusqu'à son point de fusion, sans éprouver une perte de poids; on peut même le fondre sans altérer son poids, *pourvu qu'on n'établisse point de courant de gaz ou de vapeur dans l'appareil.*

Le bromure d'argent, depuis le moment de sa formation jusqu'après sa pesée, a été conservé dans l'obscurité absolue. J'ai dit, au sujet de l'iodure d'argent, que ce corps n'est pas altéré par la lumière, quoique la plupart des chimistes admettent cette altération. Il n'en est pas de même du bromure d'argent. Ce corps, sous la *modification blanche*, devient violacé par la lumière, au bout de quelques secondes; sous la *modification jaune*, il résiste pendant plusieurs minutes, mais après avoir été fondu il ne change point de couleur, même à la radiation solaire la plus intense. *Le bromure blanc n'est pas altéré par la lumière, lorsqu'il se trouve au sein d'un liquide renfermant des traces de brome libre; on peut ainsi le conserver indéfiniment intact.*

Voici maintenant les données de la seule synthèse que j'ai faite par le moyen que je viens d'indiquer.

SYNTHÈSE PAR DIFFÉRENCE DU BROMURE D'ARGENT.

POIDS de l'argent dans l'air.	POIDS de l'argent dans le vide.	POIDS du bromure d'argent dans l'air.	POIDS du bromure d'argent dans le vide.	100,000 d'argent produisent bromure d'argent.
gram. 53,1926 [1]	gram. 53,1958	gram. 92,5920	gram. 92,6042	174,083

[1] Les pesées ont été faites à l'aide de poids de platine.

2° *Synthèses par somme et synthèses complètes du bromure d'argent.*

Pour exécuter ces synthèses, j'ai transformé à l'état de sulfate un poids déterminé d'argent; j'ai employé à cet effet le moyen que j'ai exposé à l'occasion de la deuxième synthèse par différence de l'iodure d'argent. J'ai dissous à chaud le sulfate, dans une quantité suffisante d'eau bouillie renfermant dix pour cent d'acide sulfurique pur, et j'ai introduit la solution avec les eaux de lavage du ballon dans un flacon de quatre à six litres de capacité. A cette solution refroidie j'ai ajouté de l'acide bromhydrique, obtenu par la réaction d'un poids donné de brome sur l'acide sulfureux. Avant de dire comment j'ai procédé à la transformation du brome à l'état d'acide bromhydrique, sans perte de brome, je dois exposer les méthodes que j'ai employées pour me procurer ce corps, et le moyen auquel j'ai eu recours pour m'assurer qu'il ne renfermait point de quantité sensible de chlore ou d'iode.

Du brome employé dans les synthèses.

J'ai préparé le brome: 1° par l'action de l'acide sulfurique dilué et pur sur un mélange en poids moléculaires convenables de bromure et de bromate de potassium; 2° par l'action de l'acide sulfurique dilué et pur sur un mélange en poids moléculaires convenables de bromure et de bromate de baryum.

A. *Brome du bromure et du bromate de potassium.* — Le bromure de potassium provenait de la décomposition du bromate de ce métal préparé en grand, sous ma direction, dans une fabrique de produits chimiques. Après plusieurs tentatives infructueuses pour me procurer, le plus commodément possible, du bromate de potassium pur, voici le moyen auquel je me suis arrêté :

J'ai commencé par éliminer l'iode du bromure de potassium du commerce. Pour arriver à ce résultat, j'ai dissous ce bromure dans de l'eau et j'ai dilué la solution au point de lui donner une densité moindre que celle du bisulfure de carbone. J'ai pris ensuite très-exactement un quart du volume de la solution, j'y ai instillé, goutte à goutte, et sous l'influence d'une agitation continue, de l'eau de brome, pour précipiter l'iode combiné, et j'ai ajouté de l'eau bromée jusqu'à ce que tout l'iode précipité fût redissous et que le liquide, de brun qu'il était, fût devenu d'un jaune orangé très-pâle; j'ai mêlé les trois quarts du bromure réservé à la solution contenant du tribromure d'iode, et j'ai mis ainsi en liberté tout l'iode contenu dans le bromure employé. J'ai ajouté une quantité suffisante de bisulfure de carbone, pour dissoudre cet iode, et j'ai fait agiter le tout. Après avoir enlevé le bisulfure de carbone chargé d'iode, je l'ai remplacé par une quantité nouvelle, et j'ai continué ce traitement tant que l'anhydride sulfocarbonique a pris la moindre teinte rose. A l'aide d'une nouvelle addition d'eau bromée et de bisulfure de carbone je me suis assuré de l'enlèvement complet de l'iode. Pour être tout à fait certain de l'absence de l'iode dans la solution du bromure, j'en ai évaporé une partie jusqu'à siccité et j'ai fondu le résidu. Pendant l'évaporation et la fusion il ne s'est produit aucune trace de vapeur violacée. J'ai repris le résidu par de l'eau, et la solution, essayée à l'eau bromée faible et ensuite au bisulfure de carbone, n'a donné aucun indice de la présence de l'iode. D'après l'expérience que j'en ai faite, je puis garantir que le bromure ne renfermait pas un *millionième* de son poids d'iodure de potassium.

Voulant me procurer du bromate de potassium sans métaux étrangers, j'ai séparé, à l'aide de quelques gouttes de solution de sulfhydrate de potassium, les traces de métaux tels que manganèse, fer et cuivre, que le bromure de potassium du commerce contenait.

Après avoir chauffé pendant quelque temps à l'air libre la solution de bromure, pour éliminer le bisulfure carbonique qui y était resté, j'y ai ajouté de l'hydrate de potassium dissous, et également privé de métaux étrangers, en quantité telle qu'il y avait, pour *un poids moléculaire* de bromure de potassium, *un peu moins de six poids moléculaires* d'hydrate de ce métal, et j'ai fait passer jusqu'à refus un courant de chlore au travers du mélange. Pour éviter l'obstruction du large tube amenant le chlore, j'ai pris la précaution de maintenir le liquide constamment assez chaud pour conserver à l'état dissous tout le bromate et le chlorure de potassium formés.

Après la saturation, j'ai fait porter la solution saline à l'ébullition, pour éliminer le chlore dissous ainsi que le chlorure de brome qui s'était produit à cause de l'insuffisance calculée de l'hydrate de potassium employé. J'ai ajouté une quantité insuffisante d'hydrate alcalin, afin d'avoir du brome libre, et d'empêcher autant que possible la formation du chlorate de potassium.

Par le refroidissement, la liqueur saline, qui était convenablement concentrée, a déposé du bromate de potassium. Les eaux mères évaporées à pellicule en ont fourni une nouvelle quantité. Mais le poids du bromate brut extrait n'a guère été que la moitié de celui qui avait pris naissance. L'autre moitié est restée en combinaison avec le chlorure de potassium formé en même temps. L'expérience m'a prouvé qu'on peut détruire la combinaison du bromate avec le chlorure alcalin, en ajoutant de l'alcool concentré à la solution; il se précipite ainsi une quantité considérable de bromate qui entraîne toutefois avec lui une assez grande quantité de chlorure. Mais au lieu d'utiliser ce moyen, et pour ne pas perdre le bromate de potassium, j'ai fait servir les eaux mères à la préparation du bromate de baryum, comme je le dirai plus loin.

Pour purifier le bromate de potassium, je l'ai soumis à des cristallisations successives, en prenant chaque fois la précaution de déterminer le refroidissement rapide de la solution. Les trois premières cristallisations ont été faites dans la fabrique même; les deux dernières ont été exécutées par moi. A chaque cristallisation, la bouillie cristalline a été introduite dans un appareil à déplacement; le sel égoutté a été soumis chaque fois à un lavage méthodique, identique à celui que j'ai décrit dans mon précédent travail, à l'occa-

sion de la préparation du chlorate de potassium pur destiné à la production du chlorure de ce métal. J'ai regardé le bromate comme pur lorsque, à l'état dissous, il ne troublait plus la limpidité et l'*incolorité* d'une solution *bouillante* de sulfate d'argent *tout à fait neutre*. Je dis une solution de sulfate d'argent tout à fait *neutre*, parce que le bromate de potassium le plus pur produit, à l'ébullition, un trouble dans les solutions des sels d'argent renfermant *la moindre trace* d'acide sulfurique ou d'acide azotique en excès.

Trois cristallisations successives, suivies de trois lavages méthodiques, permettent d'obtenir du bromate qui réalise la condition que je viens d'indiquer.

J'ai opéré la transformation du bromate en bromure de potassium en chauffant le sel, par petites portions à la fois, dans une grande capsule de porcelaine; l'opération ne peut pas s'accomplir dans un vase de platine sans endommager le vase et sans altérer la pureté du bromure produit. En effet, vers la fin de la décomposition du bromate, le platine est vivement attaqué; il se forme du bromo-platinate de potassium qui colore fortement en rouge-cochenille le bromure de potassium. *Si grands qu'aient été les ménagements que j'ai pris dans l'application de la chaleur sur le bromate, il s'est toujours produit, vers la fin de la décomposition, une légère déflagration accompagnée d'un dégagement de brome; aussi le bromure de potassium a-t-il été chaque fois alcalin au tournesol.*

Pour extraire le brome de ce bromure, j'ai fait un mélange de cinq poids moléculaires de bromure avec un poids moléculaire de bromate. J'ai introduit ce mélange dans une très-grande cornue tubulée, à très-long col effilé et recourbé. Après y avoir ajouté son poids d'eau distillée, j'ai instillé petit à petit de l'acide sulfurique dépouillé de tout produit nitreux, dilué de deux fois son poids d'eau, et en quantité suffisante pour transformer le potassium du bromure et du bromate en sulfate acide de potassium. Même en refroidissant le mélange avec de la glace, il produit instantanément du brome. J'ai laissé les matières en contact pendant deux heures. Pour recueillir le brome volatilisé, j'ai plongé le col effilé et recourbé de la cornue dans une autre cornue contenant une solution de bromure et de bromate de potassium. Cette cornue était entourée de glace. Son col était usé à l'éméri dans un récipient tubulé, dont la tubulure était munie d'un bouchon de verre troué par lequel

passait un tube usé à l'émeri, recourbé et plongeant dans de l'eau pure.

J'ai procédé ainsi à la distillation. Lorsque tout le brome eut passé de la première cornue dans la deuxième, j'ai enlevé la grande cornue, et après avoir ajouté au brome produit une quantité de bromate de potassium suffisante pour réduire l'acide bromhydrique qu'il pouvait contenir, j'ai bouché la cornue dans laquelle il s'était condensé, et j'ai distillé le tout au bain-marie.

J'ai obtenu ainsi *au delà d'un kilogramme de brome pur dans une seule opération.*

Quoique j'eusse reçu le brome dans une solution de bromure de potassium, j'ai voulu néanmoins le dissoudre dans une solution concentrée de bromure de calcium et le précipiter ensuite par de l'eau. De cette manière, je devais arriver à l'élimination complète du chlore, en admettant que le brome préparé avec tant de soin pût en contenir.

Dans ce but, j'ai transformé une partie du brome en bromure de calcium, à l'aide d'un lait d'hydrate de calcium pur et additionné d'une quantité convenable d'ammoniaque pure. Le brome, en pénétrant dans ce mélange, passe directement à l'état de bromure; il se dégage en même temps de l'azote. Lorsque toute la chaux eut été transformée en bromure, j'ai concentré fortement la solution, j'y ai ajouté ensuite autant de brome qu'elle a pu en dissoudre, et, à l'aide d'une addition d'eau, j'ai précipité de nouveau le brome dissous. Il s'en faut de beaucoup que l'eau élimine ainsi tout le brome employé; une assez grande partie reste en solution dans le bromure de calcium.

Pour sécher le brome *précipité*, je l'ai mis à trois reprises différentes en digestion avec un mélange de bromure de calcium sec, produit à l'aide d'une partie du même brome et de l'oxyde de calcium pur réduit en poudre. Ayant reconnu, par une synthèse complète, que le mélange de bromure et d'oxyde de calcium est impuissant pour enlever au brome la dernière trace d'eau et d'acide bromhydrique qu'il peut contenir, j'ai pris le parti de le mettre en digestion avec de l'anhydride phosphorique volatilisé [1] dans un courant d'air,

[1] J'ai volatilisé l'anhydride phosphorique dans un courant d'air, afin d'être certain de l'absence d'anhydride phosphoreux qui aurait pu donner naissance à de l'oxybromure de phosphore.

séché à l'aide de l'anhydride lui-même. Après ce traitement, je l'ai laissé séjourner pendant douze heures avec de l'oxyde de baryum pur fortement calciné et réduit en poussière impalpable, et je l'ai distillé enfin, après l'avoir séparé de l'oxyde, parce que, à une température élevée, le brome réagit fortement sur lui avec production de chaleur et formation de bromure de baryum.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que tous les appareils qui ont servi à produire et à contenir le brome humide ou sec ont été exclusivement formés de verre. Les *cornues et les récipients étaient rodés les uns dans les autres, et les tubes scellés à la lampe.*

B. *Brome du bromure et du bromate de baryum.* — Pour me procurer le bromate de baryum, j'ai utilisé les eaux mères de la préparation du bromate de potassium et les eaux mères et de lavages provenant de la purification de ce sel. Ayant reconnu que le bromate de baryum obtenu par précipitation à froid, à l'aide du bromate de potassium et du chlorure de baryum, renferme toujours une quantité assez notable de ce dernier composé, que des lavages, quelque prolongés qu'ils soient, sont incapables d'en séparer, j'ai été forcé de produire ce sel dans une condition où l'existence d'un composé de baryum autre que le bromate fût impossible. Voici le moyen que j'ai employé à cet effet.

Les eaux mères et les eaux de lavages de la préparation et de la purification du bromate de potassium ont été diluées d'environ cinq fois leur volume d'eau, et la solution a été introduite dans des ballons de quarante litres de capacité. Ces ballons étaient placés dans des bains de sable; ils servaient, dans l'usine où le bromate de potassium avait été préparé, au *blanchiment* de l'acide azotique. Quand la température du liquide salin était portée vers 80°, on y ajoutait, petit à petit, une solution très-diluée de chlorure de baryum dépouillé de métaux étrangers, aussi longtemps qu'on voyait se produire un précipité de sulfate de baryum. Lorsque tout le sulfate de potassium existant dans la solution de chlorure et de bromate de potassium eut été décomposé, et que le sulfate de baryum se fut déposé par un repos suffisant, on décanta à l'aide d'un siphon le liquide limpide, qui fut introduit dans des ballons de quarante litres, placés également dans des bains de sable. On a porté en-

suite le liquide contenu dans les ballons jusqu'à l'ébullition, et on y a ajouté du chlorure de baryum pur, aussi longtemps que le précipité de bromate de baryum, qui se produit d'abord, s'est redissous dans le restant du liquide bouillant. A l'aide d'un siphon, on a fait arriver les liqueurs saturées de bromate de baryum dans de grandes capsules de porcelaine entourées d'eau froide continuellement renouvelée, afin de déterminer le refroidissement rapide de la liqueur et la cristallisation du bromate de baryum en poussière cristalline impalpable; car c'est sous cet état seul qu'il *cède au lavage à l'eau le chlorure alcalin au sein duquel il a été formé*. Après son refroidissement complet, le liquide a été introduit de nouveau dans le ballon, porté encore à l'ébullition et additionné de chlorure de baryum, tant que le précipité de bromate qui se forme se redissout. Par un refroidissement rapide, on a déterminé la cristallisation du bromate à l'état de poussière cristalline impalpable; on a continué ainsi le traitement des eaux mères jusqu'à ce que la majeure partie du bromate de potassium eût été transformée en bromate de baryum.

On a procédé ensuite au lavage du bromate terreux produit. On l'a effectué par décantation et on l'a poussé jusqu'à ce que le sel se fût dissous dans une solution diluée, parfaitement neutre et bouillante, d'azotate d'argent, sans y produire le moindre trouble; ce qui a été fort long, eu égard à la grande quantité de sel sur laquelle on a opéré.

J'ai redissous moi-même, à trois reprises différentes, ce bromate de baryum, *en rejetant chaque fois toutes les eaux mères*. Le bromate obtenu a été divisé en deux parties : une moitié a été réservée et l'autre moitié a été encore redissoute deux fois.

J'ai extrait le brome de ces deux bromates par un moyen analogue à celui que j'ai employé pour la préparation du brome à l'aide du bromure et du bromate de potassium. Dans ce but, j'ai pris les cinq sixièmes du bromate dont je voulais retirer le brome, et je l'ai transformé en bromure par l'action ménagée de la chaleur. Vers la fin de l'opération, il s'est dégagé une quantité notable de brome avec l'oxygène; aussi le bromure a-t-il présenté une réaction alcaline très-prononcée. J'ai dissous le bromure dans de l'eau pure, et j'ai introduit la solution dans un appareil distillatoire qui contenait déjà

l'autre sixième de bromate de baryum. J'ai fait arriver dans le mélange, refroidi à l'aide de la glace, de l'acide sulfurique purifié et dilué de son volume d'eau. La production du brome a été instantanée. Pour détruire l'acide bromhydrique que le brome distillé aurait pu contenir, j'ai recueilli ce corps dans de l'eau tenant du bromate de baryum en suspension. Après qu'il eut séjourné pendant vingt-quatre heures sur ce sel, je l'ai distillé une deuxième fois. Le brome, lavé à plusieurs reprises avec de l'eau, a été séché d'abord en le faisant digérer deux fois sur un mélange de bromure et d'oxyde de calcium, ensuite en le mettant en contact avec de l'anhydride phosphorique volatilisé dans un courant d'air, et enfin en le mettant en digestion sur de l'oxyde de baryum pur et finement pulvérisé. Pour le dépouiller de toute matière fixe, je l'ai redistillé et je l'ai enfermé dans des tubes secs, scellés à la lampe.

Le brome retiré du bromate de potassium et le brome extrait du bromate de baryum bouillaient l'un et l'autre à 63°, à $0^m,7597$. C'est le point d'ébullition que M. Isidore Pierre a constaté. Solidifié, il ressemble à l'iode, sauf qu'il m'a paru plus gris d'acier. Le brome pur présente, du reste, toutes les propriétés que l'on attribue à ce corps. J'en ai observé une toutefois que je n'ai trouvée renseignée nulle part : c'est la couleur de la solution aqueuse non saturée. On sait que l'eau *saturée* de brome présente une couleur d'un rouge légèrement orangé, j'ai constaté que la solution *non saturée* est *d'un jaune pur et intense*.

Pour m'assurer si le brome extrait du bromate de potassium ne contient aucun corps halogène, j'en ai transformé de nouveau une assez grande quantité en bromure et en bromate de potassium, en employant à cet effet de l'hydrate de potassium pur. Dans la notice consacrée à la recherche du rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent, on verra que le bromure de potassium, qui s'est formé en même temps que le bromate, est identique avec le bromure de potassium qui s'est produit par la décomposition de ce bromate lui-même. Il est donc démontré de la manière la plus évidente que le brome obtenu est un corps homogène.

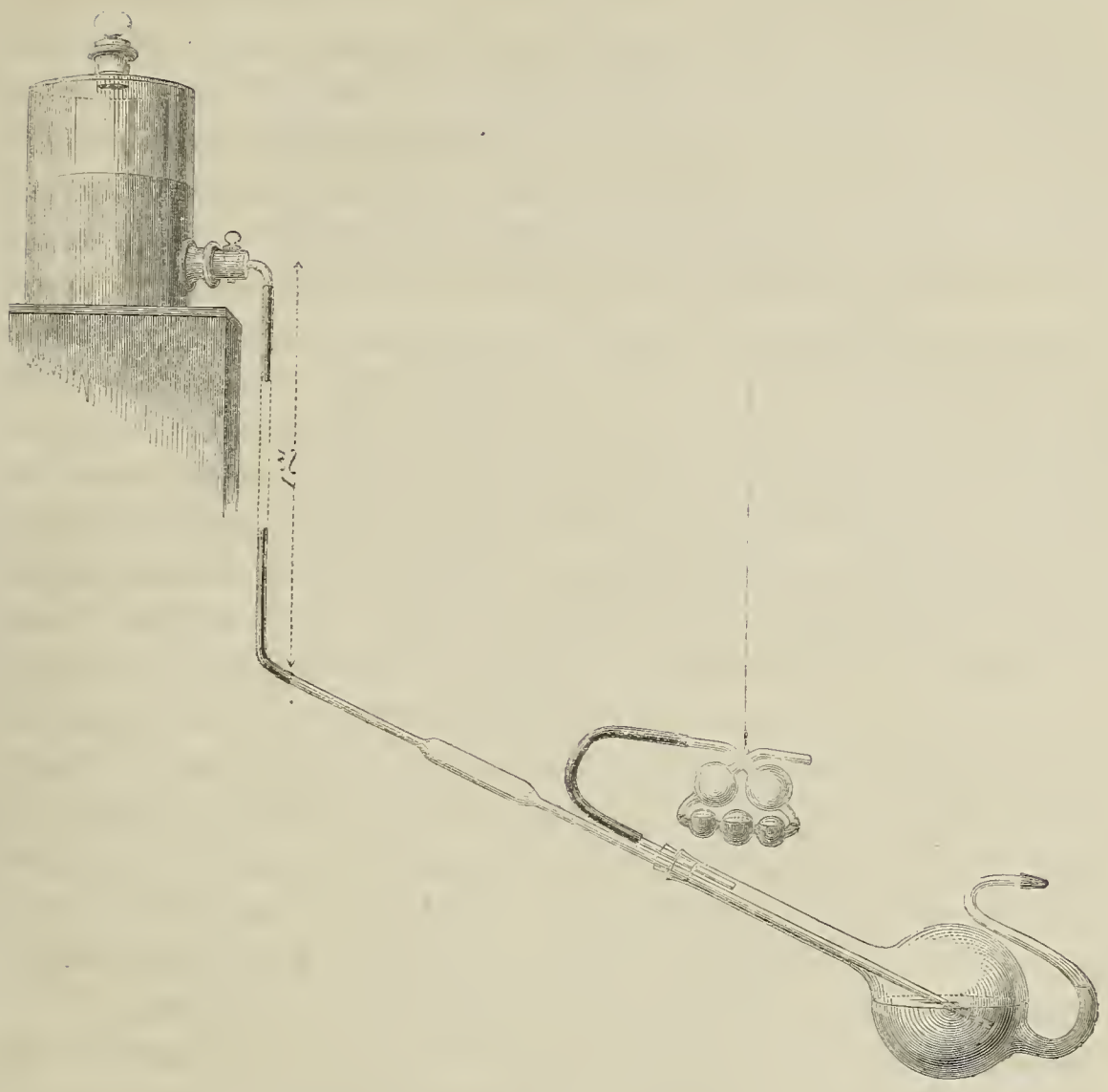
J'ai également transformé en bromure de potassium une partie du bromate de baryum, afin de me fixer sur la pureté du brome contenu dans ce

sel. Dans la notice consacrée au rapport proportionnel de ce bromure avec l'argent sont consignés les résultats auxquels je suis arrivé; ils prouvent l'identité de ce brome avec celui du bromate de potassium.

Du moyen employé pour effectuer la combinaison d'un poids déterminé de brome avec un poids déterminé d'argent.

J'ai commencé par fixer le poids du brome que je voulais combiner à l'argent. A cet effet, j'ai soudé aux deux bouts d'un tube de verre de un et demi-centimètre de diamètre, et à longueur suffisante pour contenir la quantité de brome sur laquelle je voulais opérer, — j'ai soudé, dis-je, deux tubes de un millimètre environ de diamètre intérieur, et longs, le premier de 20 centimètres, et l'autre de 40 à 45 centimètres. Après avoir bien nettoyé et séché extérieurement ce tube, j'ai appliqué le dard du chalumeau sur une partie du tube soudé ayant 20 centimètres de longueur, et je l'ai effilé et scellé. Après avoir exactement déterminé son poids, je l'ai complétement rempli de brome, en me servant du moyen employé généralement pour faire pénétrer un liquide très-volatil dans une capacité terminée par un tube capillaire. Lorsqu'il fut bien rempli à *chaud*, je scellai à la lampe le bout ouvert par lequel le brome avait pénétré. Après son refroidissement complet, je déterminai son poids; et la pesée fut réduite au vide en prenant, d'après M. Isidore Pierre, la pesanteur spécifique du brome = 3,187. J'ai pesé ensuite une quantité d'argent proportionnelle, en admettant 80 pour le poids atomique du brome. J'ai dit déjà que le brome était transformé en acide bromhydrique à l'aide de l'acide sulfureux; pour opérer cette transformation, j'ai commencé par refroidir la capacité cylindrique qui contenait le brome, jusqu'à déterminer *sa solidification*. Le long tube capillaire a été engagé dans une ouverture pratiquée dans un bouchon en caoutchouc, et j'ai brisé la pointe scellée qui le terminait. J'ai fait pénétrer l'ouverture dans une solution titrée et diluée d'acide sulfureux refroidie à 0°. Cette solution, en quantité un peu plus que suffisante pour transformer le brome en acide bromhydrique, était contenue dans l'appareil à boule figuré ci-contre.

Fig. 14.



Le bouchon de caoutchouc, au travers duquel passait ce tube, était hermétiquement adapté sur le col du ballon; il était traversé par un second tube en communication avec un appareil de Liebig, contenant également de l'acide sulfureux. L'ouverture du tube recourbé de l'appareil à boule était fermée à l'aide d'un petit bouchon en caoutchouc.

Dans cet état, j'ai abandonné l'appareil à lui-même pour déterminer la liquéfaction spontanée du brome. Quand la température du cylindre renfermant le brome se fut équilibrée avec l'air ambiant, j'ai chauffé avec précau-

tion le brome pour le forcer à sortir du tube et à se rendre au fond de la solution de l'acide sulfureux, où il s'est transformé en acide bromhydrique. Pendant ce temps, je faisais couler un filet d'eau glacée sur le ballon, afin d'empêcher l'échauffement du liquide qui y était contenu; car l'oxydation de l'acide sulfureux est accompagnée d'un développement très-considérable de chaleur. Lorsque tout le brome fut sorti du cylindre, j'ai laissé lentement refroidir celui-ci. Par suite de son refroidissement, le liquide contenu dans le ballon y est monté et a fini par le remplir presque complétement. La vapeur de brome qui remplissait la capacité s'est dissoute dans le liquide, et une partie est passée à son tour à l'état d'acide bromhydrique à la faveur de l'acide sulfureux qui y était contenu. A l'aide d'un tube de caoutchouc rempli d'eau, j'ai mis le tube capillaire, surmontant le cylindre, en communication avec un réservoir rempli d'eau pure bouillie et refroidie; par un effort, j'ai brisé la pointe qui terminait le tube capillaire, et le liquide qui était monté dans le cylindre, étant descendu de nouveau dans le ballon, a été remplacé par de l'eau arrivant du réservoir placé au-dessus. De cette manière, je suis parvenu à déplacer du cylindre tout le brome que j'y avais pesé. Lorsqu'une quantité suffisante d'eau était déjà passée par le tube cylindrique, j'ai enlevé le petit bouchon en caoutchouc qui bouchait le tube recourbé du ballon, j'ai engagé le bec de ce tube recourbé dans le goulot du flacon qui contenait la solution du sulfate acide d'argent dans une atmosphère d'anhydride carbonique, et j'ai incliné le ballon, avec les précautions convenables, afin que le liquide qui y était renfermé se rendît complétement dans le flacon.

J'ai procédé ensuite au lavage du ballon et au lavage de la partie du tube qui avait plongé dans la solution d'acide sulfureux. Toutes les eaux de lavages et le liquide contenu dans l'appareil de Liebig furent ajoutés au liquide du flacon renfermant le bromure d'argent produit; le flacon était placé dans la chambre obscure et entouré, par surcroît de précaution, d'une double toile noire. Après l'avoir fermé j'y ai fixé le bouchon, et je l'ai fait secouer *pendant une heure,* afin de ramener à l'état de bromure le sulfate d'argent que le bromure d'argent entraîne toujours lorsqu'il est formé au sein d'un liquide contenant de l'acide sulfurique.

J'ai placé le flacon au bain marie, dont j'ai élevé la température pour dé-

terminer l'éclaircissement du liquide. Cet éclaircissement s'est produit, dans les différentes expériences, entre 50 et 75°, suivant l'acidité du liquide et suivant que j'ai mis plus ou moins de temps à élever la température du bain. La plus ou moins grande élévation de la température est assez indifférente au point de vue de l'éclaircissement du liquide, mais il n'en est pas de même pour le lavage. *Pour que celui-ci puisse s'exécuter convenablement, il faut que le bromure ait été le moins possible contracté par la chaleur, sans cela il ne se divise pas facilement et retient de l'acide sulfurique emprisonné dans les grumeaux.*

J'ai procédé alors à la recherche du brome ou de l'argent dans le liquide et à la détermination de la quantité.

Dans les quatre synthèses que j'ai faites par ce moyen, j'ai trouvé de l'argent dont la quantité a été très-faible sans doute, mais elle a été invariablement la même dans les trois dernières synthèses; elle s'est élevée à $^1/_{5000}$ du poids de l'argent mis en expérience. Pour la première opération elle a été un peu plus considérable, parce que le brome employé renfermait une matière étrangère, qui probablement était de l'eau.

Pour rendre les synthèses complètes, j'ai lavé par décantation, *à chaud*, le bromure produit. Lorsque, par suite de l'élimination de l'acide, le délayement a commencé à la température à laquelle l'éclaircissement du liquide avait été effectué, j'ai introduit de la vapeur d'eau pure dans l'eau de lavage tenant le bromure en suspension, et j'ai achevé les lavages à l'aide de cet artifice, en ayant la précaution d'élever de plus en plus la température à mesure que le bromure se dépouillait davantage d'acide. J'ai pris du reste toutes les précautions nécessaires pour ne pas perdre une trace de bromure, soit par solution dans les eaux de lavages, soit par adhérence aux vases employés. A cet effet, j'ai mis en pratique tous les moyens que j'ai indiqués pour *recueillir*, *sécher* et *peser* l'iodure d'argent. La grande altérabilité du bromure d'argent par la lumière a rendu ces expériences beaucoup plus délicates et plus pénibles encore que celles que j'ai faites sur l'iodure de ce métal.

L'évaporation de toutes les eaux de lavages a été exécutée *deux fois* seulement sur quatre synthèses, elle m'a donné la certitude que l'eau acide ne

dissout pas au delà d'*un dix millionième* de son poids de bromure d'argent.

Avant de finir l'exposé si fastidieux de ces opérations, je vais communiquer deux observations concernant le bromure d'argent. Ce corps, produit à la température ordinaire, en présence de l'acide sulfureux, n'est jamais *blanc* comme celui que l'on obtient par l'action de l'acide bromhydrique dilué sur une solution d'azotate ou de sulfate d'argent; il est d'un jaune pâle, analogue à la couleur de l'iodure d'argent, mais par l'action de la chaleur ou par le contact avec un bromure alcalin, il prend à l'instant la couleur jaune intense caractéristique. Le bromure d'argent *blanc* et le bromure d'argent *jaune foncé*, réduits à la température ordinaire par le zinc et l'acide sulfurique très-dilué, fournissent, le premier, de l'argent *gris noirâtre*, quelquefois *pourpré*, et le second de l'argent tout à fait *blanc*. Berzelius a déjà fait une observation analogue sur le chlorure précipité à froid et le chlorure précipité à 100°, qui, réduits à la température ordinaire, produisent également de l'argent dans des états physiques tout à fait différents.

La synthèse n° I a été faite avec du brome du bromate de potassium, ayant digéré à trois reprises différentes sur un mélange de bromure de calcium et d'oxyde de calcium, puis distillé.

La synthèse n° II a été exécutée avec une partie du même brome, mais qui avait été mise après en contact : 1° avec de l'anhydride phosphorique sublimé dans *un courant d'air sec;* 2° avec de l'oxyde de baryum, puis distillée à part.

La synthèse n° III a été faite avec du brome du bromate de baryum cristallisé trois fois, et la synthèse n° IV l'a été avec du brome du bromate de baryum cristallisé cinq fois. Pour leur enlever la dernière trace d'eau ou d'acide bromhydrique qu'ils auraient pu retenir, je les ai fait digérer, à trois reprises différentes, sur un mélange de bromure et d'oxyde de calcium, ensuite sur de l'anhydride phosphorique pur, puis sur de l'oxyde de baryum, et je les ai enfin distillés. Avant d'avoir exécuté ces expériences je n'avais, je le reconnais volontiers, aucune idée de la difficulté que l'on éprouve à enlever aux liquides non miscibles à l'eau, les dernières traces d'humidité qu'ils retiennent, et je crois que la plupart des chimistes partagent les illusions que j'avais à ce sujet.

SYNTHÈSES PAR SOMME ET SYNTHÈSES COMPLÈTES DU BROMURE D'ARGENT.

Nos D'ORDRE.	POIDS du brome dans l'air.	POIDS du brome dans le vide.	POIDS de l'argent dans l'air.	POIDS de l'argent dans le vide.	POIDS du brome ajouté pour précipiter l'argent resté dissous.	POIDS de l'argent correspondant au brome ajouté.	SOMME des poids du brome et de l'argent employés	POIDS dans l'air du bromure d'argent produit.	POIDS dans le vide du bromure d'argent produit.	RAPPORT proportionnel entre le brome et l'argent d'après le poids du brome et d'argt employés. — 100,000 d'argent correspondent à brome.	RAPPORT proportionnel entre le brome et l'argent d'après le poids du bromure d'argt recueilli. — 100,000 d'argent correspondent à brome.
	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.		
I [1]. . . .	38,0195	38,0325	51,3410	51,3436	0,0120	0,0170	89,3880	89,3660	89,3780	74,097	74,0790
II [1]. . . .	40,7725	40,7863	55,0585	55,0615	0,0061	0,0080	95,8539	95,8375	95,8505	74,084	74,0795
III [1]. . . .	41,3223	41,3363	55,8010	55,8040	0,0074	0,0100	97,1477	97,1315	97,1450	74,086	74,0805
IV [1]. . . .	35,8116	35,8238	48,3593	48,3620	0,0054	0,0073	84,1912	84,179	84,1904	74,085	74,0830
								MOYENNE.		74,088	74,0805

[1] Les pesées ont été faites à l'aide de poids de platine.

Sauf la première synthèse, dans laquelle j'ai employé du brome qui probablement ne devait pas être absolument privé d'eau, les résultats de la synthèse par somme et de la synthèse complète s'accordent autant qu'on peut l'espérer dans une expérience si délicate et si compliquée à la fois. Ces résultats se confondent avec ceux que M. Marignac a obtenus en 1843. Il a trouvé en effet, qu'en moyenne, 100,000 d'argent produisent 174,077 de bromure réduit au vide.

J'ai obtenu pour les synthèses complètes 174,080.

D'après l'hypothèse de Prout ce serait 174,074.

Il est impossible de répondre d'une si faible différence; on est donc en droit de conclure que le rapport que le brome et l'argent observent entre eux est conforme à l'hypothèse de Prout.

IV. — Nouvelles analyses de l'iodate d'argent.

1° *Analyses complètes de l'iodate d'argent.*

J'ai dit ailleurs que j'entends par *analyse complète* une opération dans laquelle on fixe par l'*expérience même*, d'abord, le poids d'un composé, et ensuite le poids des éléments qui le constituent. On peut considérer l'iodate d'argent comme étant formé d'iodure d'argent et d'oxygène; à ce point de vue l'analyse de ce sel est complète, du moment qu'on a déterminé par l'expérience, c'est-à-dire qu'on a pesé le poids de l'oxygène, et le poids de l'iodure d'argent produits par un poids pesé d'avance d'iodate de ce métal. Ces éléments permettent de contrôler les résultats les uns par les autres, et de mesurer la grandeur de l'erreur commise.

Pour faire l'analyse de l'iodate en pesant l'oxygène et l'iodure produits, j'ai eu recours à l'action de la chaleur, et j'ai fixé sur le cuivre chauffé au rouge l'oxygène devenu libre. Comme je ne suis pas parvenu à me procurer le sel d'argent ne renfermant aucune trace d'eau, j'ai recueilli et pesé l'eau obtenue par la décomposition de l'iodate analysé. La réduction de l'iodate par la chaleur se fait avec entraînement de traces de ce sel, d'iodure d'ar-

gent et même d'iode; dans le but de me mettre à l'abri de ces causes d'erreurs, j'ai pris des précautions particulières. L'oxygène pur détermine une vive incandescence du cuivre très-divisé et préalablement chauffé au rouge sombre; l'oxyde produit dans cette circonstance adhère fortement au tube, il peut même, lors du refroidissement de celui-ci, en déterminer la rupture. Pour éviter cet accident, j'ai opéré la fixation de l'oxygène sur le cuivre dans une atmosphère d'azote qu'il m'a fallu amener pur et sec. Avant l'opération de l'analyse, j'ai dû peser les différents appareils vides d'azote; après la décomposition de l'iodate et la fixation de l'oxygène sur le cuivre, je me suis trouvé dans la même nécessité.

Toutes ces conditions réunies ont transformé l'analyse de l'iodate en une opération des plus compliquées et des plus délicates à exécuter, quoique au premier abord elle semble si simple. Je vais exposer les dispositions auxquelles j'ai eu recours pour pourvoir à ces nécessités multiples. Dans ce but, j'indiquerai la préparation de l'iodate analysé; je décrirai successivement l'appareil dans lequel a eu lieu la décomposition du sel, l'appareil contenant le cuivre servant à condenser l'oxygène, le système destiné à recueillir l'eau dégagée de l'iodate, l'ensemble des appareils qui m'ont fourni l'azote pur pendant et après la décomposition de l'iodate; enfin j'expliquerai comment j'ai exécuté l'opération elle-même, ainsi que les pesées des différentes parties de ce système d'appareils avant et après l'analyse.

Préparation de l'iodate. — Le sel soumis à la décomposition a été préparé par double décomposition. J'ai fait deux opérations distinctes : pour l'une d'elles j'ai employé l'iodate de potassium et le sulfate d'argent, et pour l'autre j'ai eu recours à l'iodate de potassium et au dithionate d'argent. A cause de la faible solubilité du sulfate d'argent dans l'eau froide, j'ai été obligé d'opérer la double décomposition sur des liquides bouillants; dans ce but, j'ai produit une solution d'iodate de potassium renfermant deux pour cent de ce sel, et une solution de sulfate d'argent contenant un pour cent, et j'ai versé un et demi-volume de la solution du sulfate dans un volume de solution de l'iodate. De cette manière, il y avait excès d'iodate alcalin et certitude de ne pas entraîner un excès d'argent.

Le mélange, après avoir été tenu un quart d'heure en mouvement, a été

abandonné au repos; et le surlendemain, le précipité a été lavé par décantation jusqu'à ce qu'il m'ait été impossible de découvrir, à l'aide de l'analyse spectrale, l'indice de l'existence du potassium dans le résidu, à peine appréciable, laissé par l'évaporation de *tout un litre* d'eau de lavage. J'ai enlevé l'eau interposée et j'ai opéré ensuite la dessiccation convenable de l'iodate, par le moyen que j'ai longuement exposé dans une des notes placées à la fin du *Mémoire sur les lois des proportions chimiques*.

Dans le même Mémoire j'ai indiqué la méthode suivie pour obtenir l'iodate à l'aide du dithionate d'argent; je n'y reviendrai pas ici. Je me bornerai à dire comment je m'y suis pris pour m'assurer de l'absence de l'iodure dans les deux parties d'iodate préparées; en effet, d'après le mode de production pratiqué, ces sels ne pouvaient contenir d'autres matières étrangères que celles résultant de leur propre réduction. J'ai constaté qu'ils se dissolvaient intégralement dans une solution diluée d'ammoniaque pure, et dans les acides sulfurique et azotique *purs* et dilués de deux fois leur volume d'eau. La dissolution était d'une limpidité complète. On n'obtient un iodate qui réalise ces conditions qu'en tant qu'on l'ait produit au sein de l'eau privée de matières organiques par la distillation sur le manganate de potassium, et qu'on ait opéré sa dessiccation dans un air également dépouillé de toute matière organique par son passage sur de l'oxyde de cuivre chauffé au rouge. L'acide azotique pur ne possède la propriété de dissoudre l'iodate pur, en produisant un liquide limpide, que lorsqu'il a été distillé, à l'état *dilué*, sur du dichromate de potassium, en prenant soin de soustraire sa vapeur à l'action de la chaleur.

Appareil destiné à la décomposition de l'iodate. — Cet appareil, figuré plus loin avec le tube à cuivre et le système à condensation de l'eau, consiste dans un sphéroïde de verre dur à deux cols opposés de diamètres inégaux; il est analogue aux ballons que M. Dumas a employés pour la synthèse de l'eau, et aux ballons dans lesquels j'ai pratiqué autrefois l'analyse du chlorate de potassium. A l'ouverture de chaque col, parfaitement dressé, j'ai adapté, à l'aide d'un mastic résineux peu fusible et complétement dépouillé de matières volatiles avant 200°, une armature métallique sur laquelle se vissait un petit robinet de *laiton* à clé de *bronze*.

Entre l'armature et le robinet se trouvait une rondelle, parfaitement dressée, de cuir desséché dans le vide au-dessus de l'acide sulfurique et dont les *pores ont été ensuite remplis de paraffine pure* [1].

Afin de retenir l'iodate et l'iodure d'argent et l'iode entraînés par le dégagement d'oxygène, j'ai placé dans le col étroit : 1° une bourre de fil épais d'argent pur et recuit, que j'ai fixée par compression à l'orifice de la sphère; 2° un tampon d'amiante calciné à l'eau régale, et transformé en une espèce de feutre en le délayant dans de l'eau et en recevant ensuite la pâte sur un tamis de toile métallique, comme s'il s'agissait de faire du papier à la forme; 3° une colonne, de 15 à 18 centimètres de long, d'une éponge d'argent pulvérulent et pur, provenant de la réduction à basse température d'un mélange de solution ammoniacale d'azotate d'argent et d'azotate de cuivre, sous l'influence du sulfite bi-ammonique. J'ai exposé page 32 et suivantes de mon *Mémoire sur les lois des proportions chimiques*, comment je me procure ainsi de l'argent pur. Cet argent est chauffé au rouge très-sombre et sert à retenir les traces d'iode entraînées par l'oxygène; 4° un tampon de 2 à 3 centimètres d'amiante feutrée servant à empêcher l'entraînement de la poussière d'argent; 5° un tampon de fils très-fins d'argent pur destiné à soutenir le feutre d'amiante; 6° un ressort à boudin, en argent, destiné à maintenir les différentes parties tendant à se déplacer sous l'influence des courants rapides de gaz qui se produisent dans ce col, lorsqu'on vient à faire le vide dans l'appareil.

Ce système, avant de servir à l'expérience, a été chauffé à une température élevée, en faisant arriver en même temps un courant d'air sec. Au même moment, le col renfermant les différentes matières que je viens de détailler,

[1] On parvient à ce résultat en plaçant le cuir séché dans la paraffine fondue et en faisant le vide, laissant pénétrer l'air sous la cloche, faisant encore le vide et rétablissant la pression. En répétant ces opérations un assez grand nombre de fois, on finit par obtenir un cuir d'une imperméabilité absolue pour les gaz à basse température, et fort souple vers 40° à 45°. L'imprégnation des cuirs par la paraffine m'a rendu les plus grands services lorsqu'il s'est agi de faire des pesées dans des vases vides d'air. Ces cuirs sont privés d'hygrométricité, et ils conservent l'intégrité de leur poids jusqu'à une température assez élevée. Fixés par compression entre des surfaces juxta-posées, ils tiennent indéfiniment le vide. Lorsque la paraffine est bien purifiée, elle ne provoque point l'oxydation du cuivre ou du laiton, comme c'est toujours le cas pour les corps gras qui servent à donner de l'imperméabilité aux cuirs destinés à la fabrication des rondelles employées dans les appareils où l'on doit maintenir le vide.

était placé dans une gaîne de tôle remplie de magnésie fortement calcinée; cette gaîne était chauffée au rouge très-sombre [1].

[1] *De l'action de l'oxygène sur l'argent en présence du verre.*

Ayant remarqué que l'argent, très-divisé, chauffé au contact du verre, à une température capable d'amener le ramollissement du verre, colore celui-ci en jaune et même en brun, je me suis demandé si cette coloration n'est point accompagnée d'absorption d'oxygène. Dans le but de résoudre cette question, j'ai fait un mélange intime de cent grammes de verre très-réfractaire finement pulvérisé, et de trente grammes d'argent précipité *à froid* d'une solution ammoniacale d'azotate d'argent par une solution ammoniacale de sulfite cuivreux. Ce mélange, bien séché, a été introduit dans un tube de verre très-réfractaire de soixante centimètres de longueur, effilé d'un bout et muni d'un tampon d'asbeste feutré; l'autre bout de ce tube a été effilé après que la poudre de verre et d'argent y eut été introduite et convenablement tassée. Le tube ainsi disposé, après avoir été chauffé vers 350° pendant qu'un courant d'air sec le traversait, a été pesé après son refroidissement complet. Son poids était 289^{gr},6245; je l'ai suspendu dans une gaîne de tôle placée sur une grille à gaz; il ne reposait que par ses bouts non chauffés. J'ai amené la gaîne au rouge sombre, et j'ai fait passer pendant *une heure et demie* de l'air pur et sec au travers du tube. Au bout de ce temps, j'ai éteint le gaz et j'ai abandonné le tout au refroidissement. Le mélange de verre et d'argent, qui primitivement était d'un gris très-sale, était devenu beaucoup plus blanc.

Le poids du tube, déterminé le lendemain, était de 289^{gr},6257.

J'ai replacé le tube dans la gaîne de tôle et j'ai amené celle-ci à la température rouge la plus élevée que j'ai pu produire sans déterminer la flexion du tube librement suspendu. Dans cet état, j'y ai fait passer pendant une heure un courant lent d'air pur et sec. Après le refroidissement, la couleur du mélange était devenue encore plus blanche, et la surface interne du tube de verre avait conservé sa couleur.

Le poids du tube, déterminé le lendemain, était 289^{gr},6252.

Enfin, j'ai introduit une troisième fois le tube dans la gaîne, mais en le faisant reposer par le milieu sur un lit de magnésie pure, chauffée préalablement au gaz tonnant pour en déterminer la contraction et produire ainsi l'indifférence chimique. J'ai porté ensuite la gaîne à une température aussi élevée que j'ai pu l'obtenir par la combustion du gaz; pendant ce temps, j'ai fait passer de l'air sec au travers du tube. Quoique ce tube fût très-réfractaire, au bout d'une vingtaine de minutes il s'est affaissé sur lui-même, tout en se courbant entre les parties suspendues, et il s'est obstrué au point d'empêcher complétement le courant d'air. Après l'avoir laissé très-lentement refroidir pour en empêcher la casse, j'ai lavé à l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique la portion qui avait reposé sur la magnésie, puis par l'eau pure. Le mélange de verre et d'argent, fortement contracté et tout à fait adhérent au tube, s'était sensiblement coloré en jaune, toutes les parties en contact avec le verre avaient également coloré la surface du tube en jaune légèrement brunâtre.

	gram.
Après un refroidissement convenable, je l'ai pesé; son poids constant a été . . .	289,6545
Il y a eu donc une augmentation de poids égal à.	0,0308

Il résulte de ces faits que, par suite de son contact avec le verre même très-réfractaire, l'ar-

Lorsque l'appareil fut tout à fait séché, j'y fis le vide aussi parfaitement qu'une machine pneumatique neuve le permet. Pour me mettre à l'abri de l'entraînement des matières pulvérulentes par les courants brusques et rapides, j'eus soin d'interposer entre la machine et l'appareil un tube de verre très-solide, long de 25 à 30 centimètres, et d'un diamètre intérieur allant du tiers au quart de millimètre. Cet obstacle rend l'opération beaucoup plus longue, mais cette lenteur est indispensable pour ne pas soulever les matières légères et les entraîner ensuite, hors des appareils, dans la pompe même.

Appareil destiné à fixer l'oxygène. — Cet appareil consiste en un tube de verre très-réfractaire, de soixante-quinze à quatre-vingts centimètres de long, sur deux centimètres et demi de diamètre. A chaque bout, parfaitement dressé, j'ai luté, à l'aide d'un mastic résineux peu fusible, une armature métallique sur laquelle vient se visser un petit robinet de laiton muni d'une clef de bronze.

Des cuirs préparés à la paraffine sont interposés entre l'armature et le robinet. Ce tube contient du cuivre pur sous différents états : d'abord par le bout destiné à l'entrée de l'oxygène, un tampon de fil de cuivre destiné à empêcher les matières d'avancer au delà d'un certain point; ensuite une colonne, de dix à douze centimètres, de tournure très-fine de cuivre *pur;* en troisième lieu, une colonne de dix centimètres de cuivre réduit de l'oxyde à l'aide de l'*oxyde carbonique pur* (afin de donner beaucoup de cohésion à cette mousse métallique, la réduction a été opérée à une haute température); en quatrième lieu, une colonne de vingt centimètres de cuivre, réduit de l'oxyde par l'oxyde carbonique à basse température, dans le but de l'avoir le plus divisé et le plus apte à s'emparer de la moindre trace d'oxygène; en cinquième lieu, de la tournure de cuivre pur légèrement oxydée : cet oxyde est destiné à ramener à l'état d'eau l'hydrogène qui aurait pu être mis en liberté par le passage de la vapeur d'eau sur les traces de fer restées dans le cuivre métallique.

gent peut absorber l'oxygène et produire du silicate de ce métal; mais cette absorption est absolument nulle au-dessous de la température du ramollissement du verre. Comme, dans l'analyse de l'iodate d'argent, l'argent pulvérulent sur lequel l'oxygène a passé a été chauffé seulement au rouge très-sombre, et par conséquent à une température inférieure à celle du ramollissement du verre très-réfractaire, je crois être certain qu'il n'y a pas eu absorption d'oxygène, et que partant il n'y a aucune cause d'erreur de ce chef.

J'ai soutenu la tournure grillée à l'aide d'une bourre de fils fins de cuivre. Pour éviter l'entraînement des parcelles métalliques par les gaz en mouvement, j'ai placé une colonne d'amiante feutrée de trois à quatre centimètres de long; une nouvelle bourre de fils de cuivre maintient cette colonne d'amiante; enfin un ressort à boudin en cuivre redresse les différentes parties lorsqu'elles avancent sous le courant produit par la machine pneumatique.

Ce n'est qu'après mûre réflexion, et après de longs tâtonnements, que je me suis servi du métal cuivre sous ces différents états. J'ai mis à la préparation du cuivre les soins les plus minutieux : j'ai éliminé notamment le soufre que ce métal contient presque toujours; dans ce but, après l'avoir transformé en azotate, à l'aide de l'acide azotique pur, j'ai ramené ce sel à l'état d'oxyde par une chaleur simplement suffisante pour effectuer sa décomposition. D'un autre côté, j'ai produit de l'hydrate de potassium pur par l'action de l'eau sur l'oxyde de potassium, obtenu par la réduction de l'azotate de ce métal au moyen du cuivre métallique. L'oxyde de cuivre a été chauffé avec une solution de cet hydrate de potassium jusqu'au moment où l'analyse ne m'a plus permis d'y découvrir l'existence du soufre. J'ai été amené à l'élimination du soufre, parce que j'ai reconnu que l'oxydation du cuivre sulfuré est accompagnée d'un dégagement d'anhydride sulfureux lorsqu'elle s'effectue à une température élevée.

L'emploi de l'oxyde carbonique pour la réduction de l'oxyde de cuivre, emploi qui a entraîné beaucoup de travail, a été nécessité par le fait reconnu par M. Melsens, de l'existence de l'hydrogène dans le cuivre réduit à basse température à l'aide de ce corps. La présence de cet hydrogène eût été une source d'erreurs d'autant plus grande, que l'iodate lui-même dégage des traces de vapeur d'eau lorsqu'on le soumet à la fusion. Du reste, abstraction des peines qu'entraîne l'emploi de l'oxyde carbonique, le cuivre obtenu ainsi m'a semblé plus oxydable que celui fourni par l'hydrogène. Dans son oxydation, il ne m'a fourni aucune trace d'anhydride carbonique.

Le tube, avant de servir à l'opération, a été chauffé au rouge très-sombre dans un courant lent d'azote pur et sec, pour éliminer complétement la vapeur d'eau que le métal pulvérulent avait enlevée à l'air atmosphérique. J'y ai fait ensuite le vide, en interposant, entre la machine pneumatique et lui, un

tube capillaire destiné à empêcher l'entraînement des poussières métalliques.

Du système destiné à la condensation de l'eau. — Le système destiné à la condensation de l'eau consiste dans trois tubes en U, de quarante centimètres de longueur sur deux centimètres et demi de diamètre intérieur. Au bout de ces tubes sont soudés des tubes recourbés à angle droit, de un centimètre de diamètre intérieur. Ces tubes en U sont remplis de pierre ponce réduite en grains irréguliers de un à deux millimètres de diamètre. Avant d'introduire ces grains dans les tubes, je les ai mouillés par de l'acide sulfurique, et, après vingt-quatre heures de digestion, je les ai chauffés au rouge, afin de décomposer les chlorures et fluorures que la pierre ponce contient. Pour plus de sécurité, j'ai renouvelé cette opération une seconde fois; au second traitement, je n'ai pas vu apparaître la moindre trace d'acide chlorhydrique ou de tétra-fluorure de silicium. Après le refroidissement de la pierre ponce, j'en ai rempli les tubes, en me servant à cet effet d'une main de platine. Lorsqu'ils en furent presque entièrement remplis, je les chauffai jusqu'à 300° environ, tout en y faisant passer un courant d'air sec, et pendant qu'ils étaient encore fort chauds, j'y ai laissé couler, à l'aide de la pointe d'une pipette, de l'acide sulfurique normal, chauffé près de son point d'ébullition, et en quantité suffisante non-seulement pour pénétrer et mouiller tous les grains, mais encore pour que les tubes, placés dans une position verticale, continssent, dans leur courbure, une couche d'acide sulfurique d'un centimètre et demi de hauteur. Afin d'être certain que les pores des grains étaient complétement remplis d'acide sulfurique et d'éliminer de la sorte l'air qu'ils renfermaient, j'ai fait, à trois reprises différentes, le vide dans les tubes, après que l'acide sulfurique y eut été introduit, en laissant pénétrer à chaque fois de l'air séché par son passage sur l'acide sulfurique lui-même. A chaque reprise, j'ai retourné les tubes pour répandre sur les grains l'acide déposé dans la courbure.

Les trois tubes ont été rendus solidaires à l'aide de petits tubes courbés en U, fixés par des tubes en caoutchouc. Ces tubes de caoutchouc étaient solidement fixés sur les bouts libres des appareils de verre, à l'aide de lames minces d'argent faites par le laminage d'un fil épais de ce métal. Je tournais cette lame métallique en spires tellement rapprochées autour du tube, que la

surface du caoutchouc en était entièrement couverte. De cette manière, je me suis mis, autant que possible, à l'abri de l'augmentation de poids que le caoutchouc tend à subir en s'emparant de l'oxygène de l'air.

Des essais nombreux, faits à plusieurs reprises, sur la dessiccation des gaz, m'ont prouvé que *deux* tubes, comme ceux que je viens de décrire, suffisent pour garantir l'absorption totale de l'eau, dans les conditions où ils doivent fonctionner. Pour plus de certitude, j'y ai joint un troisième tube; cette surcharge était d'ailleurs insignifiante pour la balance qui devait les peser.

J'ai pris en outre le soin d'ajouter un quatrième tube *libre* devant servir de *témoin*. Ce tube témoin a une hauteur moitié moindre que celle des grands tubes et un diamètre de près de deux centimètres. Je garantissais la conservation du témoin contre les atteintes de l'humidité de l'air ambiant, en le mettant pendant l'expérience en communication avec un long tube en U, identique aux trois tubes formant le système à condensation de la minime quantité de vapeur d'eau résultant de la décomposition de l'iodate, et préparé dans les mêmes conditions qu'eux.

Lorsque ces tubes ne fonctionnaient pas, leurs ouvertures étaient munies de poches en caoutchouc; et, sauf le moment où ils pendaient à la balance, ils étaient enfermés dans une espèce de sac en lin fin, pour les soustraire à l'influence des poussières et de l'attouchement des mains. L'ensemble du système à condensation de l'eau est figuré à la fin de ce Mémoire sur une planche séparée, avec tout l'appareil d'analyse.

Du système d'appareil qui a fourni l'azote pur nécessaire à l'opération.— Ce système se compose d'un gazomètre de Pepys, de 140 litres de capacité, qui est rempli d'azote préparé par l'action de l'air sur le cuivre chauffé au rouge. Comme ce gaz devait nécessairement être conservé en contact avec l'eau, j'ai eu soin de dissoudre dans celle-ci du *stannite de potassium*, qui a l'avantage de dissoudre à la fois l'oxygène et l'anhydride carbonique libres. J'ai déjà eu recours, en 1842 [1], au stannite de potassium pour enlever, à l'oxyde carbonique recueilli sur l'eau, l'oxygène et l'acide carbonique qu'elle renfermait.

[1] *Nouvelles recherches sur le véritable poids atomique du carbone*, Bulletins de l'Académie royale de Belgique, t. XVI.

Ce stannite de potassium se prépare, au fur et à mesure des besoins, par la dissolution de l'hydrate de stannosum dans l'hydrate de potassium; et l'hydrate de stannosum s'obtient par l'action du carbonate bisodique sur une solution de chlorure de stannosum. On sait qu'une solution concentrée de stannite de potassium se détruit rapidement avec dépôt d'étain et formation de stannate de potassium; mais, en solution diluée, le stannite de potassium se conserve fort longtemps.

A l'aide d'un tube en Z le gazomètre est mis en communication avec un grand appareil de Liebig, contenant de l'acide sulfurique pur, qui lui-même est en relation avec deux grands tubes en U reliés entre eux et contenant du chlorure de calcium fondu. Le second de ces tubes communique, à l'aide d'un tube conique de caoutchouc, avec un tube en verre blanc réfractaire, long de un mètre et dix centimètres. Ce tube est placé dans une gaîne de tôle remplie de magnésie et reposant sur une grille à gaz. Il renferme du cuivre divisé, provenant de la réduction de l'oxyde de cuivre par l'oxyde carbonique. *Pendant le passage de l'azote, ce tube est chauffé au rouge sombre sur une longueur de 90 centimètres.*

Au bout de ce long tube est mastiqué une armature de laiton sur laquelle se visse, avec interposition d'un cuir, un robinet assez bien construit pour tenir parfaitement le vide. Ce robinet fait partie d'un système de tube en T terminé à ses trois bouts par des robinets. L'un de ces robinets est en communication avec la machine pneumatique, l'autre s'ajuste à un système de dessiccation formé de cinq grands tubes en U, remplis de pierre ponce concassée, humectée d'acide sulfurique normal. Ces tubes en U ont été préparés avec tous les soins que j'ai fait connaître pour le système destiné à recueillir les traces d'eau dégagées de l'iodate. Ces tubes en U sont reliés les uns aux autres par des tubes de caoutchouc faits à l'aide de lames épaisses, découpées dans des blocs de *caoutchouc naturel* bien séché dans le vide. Il n'y a en effet que le *caoutchouc naturel* qui, appliqué sur des surfaces dépolies et sous une épaisseur suffisante, garde le vide. Le caoutchouc qui a été vulcanisé, et qui a été désulfuré ensuite, est extraordinairement poreux.

Le bout libre du dernier de ces cinq tubes, reliés entre eux, est terminé par un robinet. Pour être certain que, par ce robinet, il se dégage de l'azote

pur, j'ai pris les dispositions suivantes : après avoir adapté sur le gazomètre un tube métallique, contenant une colonne de liquide capable d'exercer sur le gaz azote contenu dans le réservoir une pression de 60 à 80 centimètres d'eau, j'ai ouvert le robinet du gazomètre, de manière à laisser passer bulle à bulle l'azote au travers de l'acide sulfurique de l'appareil de Liebig, et j'ai chauffé au rouge très-sombre le tube contenant le cuivre réduit, placé sur la grille à gaz. Lorsque cinq litres d'azote eurent traversé tout le système, je fermai le robinet qui termine le tube à cuivre et le robinet qui clôt le système à dessiccation; j'ouvris le robinet adapté au tube en T, que j'avais mis en communication avec la pompe pneumatique, et fis le vide dans les cinq tubes, à $0^m,001$ près. Ce résultat atteint, j'ai ouvert lentement le robinet du tube à cuivre, de manière à laisser pénétrer de l'azote pur dans le système à dessiccation. Lorsque la pression a été rétablie, j'ai fermé de nouveau le robinet du tube à cuivre, on a fait de nouveau le vide et j'ai laissé encore une fois pénétrer de l'azote. J'ai répété un grand nombre de fois ces opérations pour être tout à fait certain de l'absence de toute trace d'air dans le système destiné à sécher l'azote.

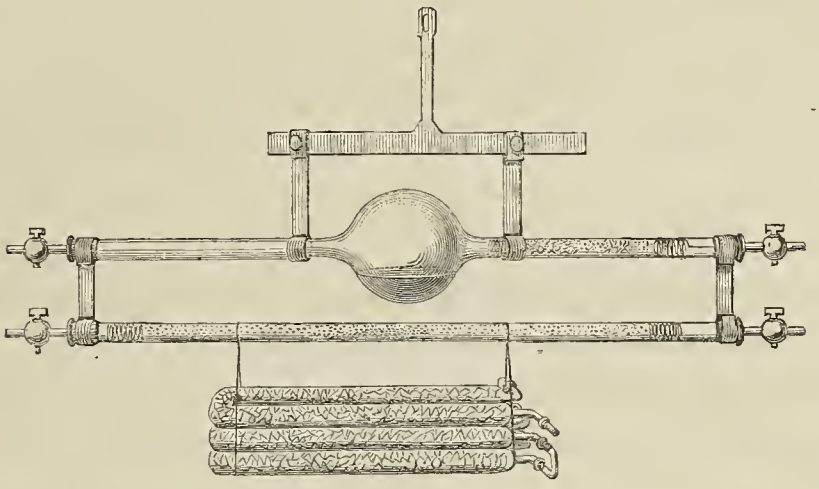
Avant de dire comment j'ai procédé à la décomposition de l'iodate d'argent, il faut que j'expose les moyens employés pour peser les différents appareils.

Pesées des appareils. — La pesée d'appareils aussi longs que ceux dans lesquels j'ai été obligé d'exécuter l'analyse est une opération des plus délicates. Le balancement qu'ils éprouvent, lorsqu'ils ne sont point suspendus dans une position parfaitement horizontale et dans un équilibre stable, rend la pesée douteuse. Lorsque j'ai eu à peser les longs tubes où j'ai effectué la combustion de l'argent dans le chlore et dans le soufre, les ballons à deux cols dans lesquels j'ai opéré la décomposition du chlorate de potassium, les cylindres de 90 centimètres de long dans lesquels étaient renfermés les tubes contenant soit le sulfure soit le sulfate d'argent, j'ai eu à lutter contre ces difficultés. A cette époque, j'ai imaginé l'artifice suivant, qui réussit au point que la pesée d'un objet placé dans la position horizontale n'est pas plus difficile que celle d'un vase suspendu dans la position verticale. Cet artifice consiste à *fixer* ces appareils à un support en T renversé, suspendu à la balance dans un état d'équilibre parfait. La branche verticale du T renversé présente

une ouverture allongée dont la partie supérieure est limée en biseau. De chaque côté de la branche horizontale se meut une coulisse à laquelle est attachée une lame métallique longue et recourbée. Chaque coulisse est munie d'une vis de pression qui permet de la fixer sur un point quelconque du bras du T; les parties recourbées de la lame servent de support à l'objet à peser.

La figure ci-dessous représente le support dont je me suis servi dans les pesées des appareils destinés à l'analyse de l'iodate.

Fig. 15.



Comme garantie de l'exactitude de mes pesées, j'ai suspendu en bloc à la balance, *avant* et *après* l'analyse, les *trois* systèmes d'appareils, dans la position que montre la figure avec le support. Comme l'oxygène et les traces de vapeurs d'eau, devenus libres par la décomposition, étaient fixés l'un dans le tube à cuivre et les autres dans le système à condensation de l'eau, après l'opération, le poids total devait être le même qu'avant l'expérience, sauf l'erreur de l'expérience. Pour pouvoir peser en bloc ces trois systèmes d'appareils, j'ai attaché des crochets métalliques doublement recourbés sur les armatures mastiquées au bout de chaque col soudé au sphéroïde; dans la courbure inférieure de chaque crochet j'ai posé l'armature mastiquée à chaque bout du tube à cuivre métallique. A l'aide de deux gros fils métalliques j'ai pendu au tube à cuivre le système à condensation de la vapeur d'eau, placé également dans la position horizontale.

Le support, sur lequel ces trois systèmes d'appareils étaient fixés, était suspendu au plateau de la balance; il flottait librement dans une grande cage au-dessous de celle-ci. L'air de cette cage était aussi sec que possible, et abrité, à l'aide de cloisons épaisses de bois, de toute cause de mouvement soit par des courants, soit par la chaleur rayonnante du corps.

Comme contre-poids du système j'ai pendu, à l'aide d'une longue tringle d'acier, un ballon fermé, des tubes bouchés hermétiquement dont le volume extérieur était rigoureusement identique à celui des appareils dans lesquels je faisais le vide. Pour arriver à cette identité de volume, je me suis servi de la méthode indiquée pour la première fois par M. Regnault, dans son *Mémoire sur la pesanteur spécifique des gaz*. A ce ballon et à ces tubes bouchés j'ai ajouté des tubes en U ouverts et contenant de la pierre ponce pour contre-balancer exactement le poids du système à eau dans lequel je ne pouvais pas faire le vide.

Avant que d'exécuter une expérience d'analyse, je me suis assuré d'abord si les systèmes destinés à se faire contre-poids restaient en équilibre dans l'air, à différentes températures et à différentes pressions; ensuite, j'ai cherché quels étaient les changements que les appareils pourraient éprouver sous l'influence de la chaleur, du courant d'azote et des opérations nécessaires pour y faire le vide.

Après avoir amené la balance à une sensibilité convenable pour la charge qu'elle était destinée à supporter et avoir garanti l'invariabilité de la longueur de ses bras, j'ai déterminé le poids stationnaire des appareils *vides d'azote* à $0^m,001$.

	gram.
Ce poids a été trouvé égal à	1075,05525
Ayant rempli ces mêmes appareils d'azote et les ayant vidés de nouveau à $0^m,001$, j'ai trouvé, après cinq heures de refroidissement	1075,0555
Le lendemain, leur poids était	1075,0555
Les appareils étant traversés par un courant d'azote pur, j'ai chauffé au rouge sombre, à l'aide des moyens que j'indiquerai plus loin, la sphère destinée à contenir l'iodate et le tube à cuivre servant à la fixation de l'oxygène; après trois heures de refroidissement j'y ai fait de nouveau le vide, et j'ai trouvé	1075,0545
Après cinq heures de refroidissement	1075,0550
Et le lendemain, le vide étant poussé aussi loin que possible . .	1075,0550

J'ai laissé le système suspendu à la balance pendant cent vingt heures, laps de temps durant lequel j'ai fait varier la chaleur de l'appartement de 5° à 28°, sans que le système ait changé sensiblement de poids. Dans cet intervalle, la pression barométrique a varié de $0^m,761$ à $0^m,769$.

La constance dans le poids des appareils, suspendus pendant un temps si long au plateau de la balance, ne s'obtient qu'à la condition qu'on soustraie son fléau, aussi bien que les objets à peser, au rayonnement et aux courants d'air chaud. Pour éviter l'influence de la chaleur sur les bras de la balance, je couvre d'une manière permanente, à l'aide d'une double toile de coton blanc, les deux tiers supérieurs de la cage qui la renferme, et je ne laisse de libre que le bas de l'aiguille sur laquelle on observe de loin son mouvement d'oscillation. Si l'on n'a pas soin de prendre chaque fois cette précaution, et si l'on se place à droite ou à gauche de la balance, on constate des poids variant en sens opposés, suivant que l'on a produit l'allongement inégal de l'un ou l'autre bras du fléau.

Après avoir reconnu que les appareils tenaient bien le vide, et que leur poids restait intact dans les conditions où l'expérience doit s'accomplir, j'ai introduit dans le corps du ballon, à l'aide d'un tube assez long, ouvert par les deux bouts, la quantité d'iodate sur laquelle je voulais opérer; et, après en avoir déterminé le poids, j'ai procédé à l'analyse même.

De l'opération de l'analyse de l'iodate d'argent. — J'ai placé le ballon dans un bain de magnésie fortement calcinée et j'ai engagé l'un de ses cols, celui contenant la colonne d'argent divisé, dans une gaîne de tôle remplie de magnésie fortement calcinée. Ce bain et cette gaîne étant solidement fixés à une hauteur convenable au-dessus d'une lampe à gaz à cinq flammes et d'une grille à gaz, j'ai élevé le tout de manière à mettre le robinet, qui termine son col vide, à la hauteur du robinet adapté à l'appareil destiné à fournir l'azote pur et sec. J'ai relié ces deux robinets l'un à l'autre à l'aide d'un tube de caoutchouc. A la branche du robinet, terminant l'autre col du ballon, j'ai relié, à l'aide d'un tuyau épais de caoutchouc, le tube à cuivre posé dans une gaîne remplie de magnésie qui le couvrait complétement. Cette gaîne reposait sur une grille à gaz qui permettait d'élever sa température au rouge. Enfin, j'ai mis le tube à cuivre en communication avec le système destiné à la conden-

sation de la vapeur d'eau; ce système était suivi de son témoin, et celui-ci de son tube en U servant à le garantir des atteintes de l'humidité atmosphérique.

Ces différents appareils étant disposés comme l'indique la planche annexée à ce Mémoire, j'ai commencé par ouvrir le robinet du gazomètre contenant l'azote, et j'ai porté au rouge sombre le grand tube à cuivre destiné à dépouiller l'azote des traces d'oxygène qu'il pouvait retenir; après avoir placé des écrans de métal et de carton, en nombre suffisant et convenablement espacés, pour garantir de la chaleur les mastics résineux qui servent à fixer les armatures métalliques sur les cols du ballon et du tube à cuivre, j'ai ouvert le robinet terminant le système à dessiccation de l'azote et j'ai tourné avec les plus grandes précautions le robinet du ballon pour y laisser pénétrer lentement le gaz azote. Ce résultat atteint, j'ai tourné le robinet opposé, puis, avec les précautions nécessaires, le robinet du tube à cuivre qui lui correspond, et enfin le robinet qui termine le tube à cuivre. Lorsque quatre à cinq litres d'azote pur eurent passé par le système entier, *tout en maintenant le courant d'azote,* je portai au rouge *sombre* le tube à cuivre métallique, ensuite la gaîne dans laquelle repose le col contenant l'argent, enfin je chauffai avec lenteur le bain de magnésie contenant le ballon.

Dès que j'ai vu l'iodate fondu dégager des gaz, j'ai fait tous mes efforts pour maintenir aussi stationnaire que possible la température du bain. Au commencement, l'iodate fondu se décompose avec beaucoup de régularité; le liquide est bien *fluide,* incolore; mais à mesure que la décomposition s'accomplit, le liquide prend de la viscosité, il se colore en jaune, en rouge, en brun rougeâtre; le dégagement du gaz devient de plus en plus difficile et la conduite de l'opération de plus en plus délicate.

Comme j'avais étudié, par une expérience préliminaire faite sur environ une trentaine de grammes d'iodate, toutes les phases de cette décomposition, j'ai pu terminer l'opération sans le moindre accident. Seulement, vers la fin de la décomposition de l'iodate, lorsque la grande quantité d'iodure qui avait pris naissance fut devenue visqueuse par l'élévation considérable de température, comme c'est le cas pour le soufre chauffé à 350°, il a fallu redoubler d'attention dans la conduite du feu, sinon l'iodure soulevé aurait été entraîné

par le dégagement d'oxygène. J'ai maintenu l'application de la chaleur aussi longtemps que l'iodure n'est point resté à l'état de fusion tranquille. Le dégagement d'oxygène a duré six heures environ, dans l'analyse que j'ai faite sur $98^{gr},1396$, et il a fallu onze heures de chaleur consécutive et de soins assidus pour terminer le dégagement de l'oxygène dans la deuxième analyse, où $156^{gr},8649$ d'iodate ont été décomposés.

Lorsque l'iodate se maintint en fusion tranquille au fond du ballon, malgré l'élévation croissante de la température, je couvris la partie libre du ballon d'une double toile métallique, très-serrée et convenablement recourbée, sur laquelle je placai des charbons incandescents, afin de décomposer les traces d'iodate projetées par le pétillement contre la voûte du ballon.

La quantité d'iodate et d'iodure, entraînée par le courant de gaz dans le col, a été très-faible; le tiers au plus de la colonne d'amiante feutré en était légèrement coloré en jaune, le reste avait conservé sa couleur blanche. L'argent m'a paru avoir conservé également sa blancheur, du moins il m'a été impossible de découvrir sur une partie quelconque de la colonne la moindre coloration produite par la formation de l'iodure d'argent. Je n'ai pas constaté non plus la coloration du verre en contact avec l'argent, preuve qu'il n'y a pas eu absorption d'oxygène et production de silicate d'argent [1].

Lorsque le dégagement d'oxygène eut complétement cessé au sein de la matière contenue dans le ballon, je laissai lentement refroidir le bain, tout en maintenant au rouge sombre le tube à cuivre, et en continuant le courant d'azote pendant une heure au moins, de manière à faire passer de 12 à 15 litres d'azote pur pour déplacer la dernière trace d'oxygène.

Ce résultat obtenu, j'ai laissé refroidir le ballon à deux cols et le tube à cuivre. Tous les robinets étant fermés, j'ai détaché le système destiné à recueillir l'eau, qui alors contenait une atmosphère d'azote. Pour éliminer cette atmosphère et la remplacer par de l'air pur, j'ai fait passer lentement un courant d'air, desséché préalablement par son passage au travers d'un tube à chlorure de calcium, suivi de quatre grands tubes en U à ponce sulfurique préparés avec tous les soins nécessaires. Le système à eau

[1] Voir la note de la page 175.

a été muni de ses poches en caoutchouc et abandonné, dans son enveloppe de lin, au refroidissement complet.

Le refroidissement du ballon et du tube à cuivre étant accompli, j'ai lavé, à l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, puis par de l'eau pure, toutes les surfaces de verre qui avaient subi le contact de la magnésie calcinée, et j'ai essuyé les appareils avec du linge fin.

L'iodure contenu dans le ballon était d'un jaune légèrement verdâtre. *Toute la surface du ballon qui avait été en contact avec l'iodate en décomposition était colorée en jaune ou en jaune brunâtre.* Je me suis assuré par un essai direct que la coloration du verre se fait avec augmentation notable de poids. De l'argent entre en combinaison avec la substance du verre, et un iodure alcalin se forme et reste en dissolution dans l'iodure d'argent. L'iodure d'argent lui-même, chauffé longtemps dans le verre, produit le même effet; *cette double décomposition s'effectue sans dégagement d'oxygène ou d'iode.* J'ai constaté ce fait en chauffant au delà de 100 grammes d'iodure d'argent dans un ballon de verre réfractaire, à la température la plus élevée que ce verre est capable de supporter sans s'affaisser sur lui-même; dans cet essai j'ai eu soin de ne pas établir de courant de gaz dans le vase, pour me mettre à l'abri de la volatilité de l'iodure.

Le tube à cuivre ne présentait d'oxydation du métal que dans le premier quart de la longueur de la colonne, quoique les trois quarts restants fussent également chauffés au rouge. Les chimistes qui ont exécuté des analyses de l'air par la méthode de MM. Dumas et Boussingault savent, du reste, que l'oxydation du cuivre dans un semblable appareil se fait graduellement, lorsque le courant est bien modéré; et, lors de la décomposition de l'iodate, il a dû être nécessairement d'une lenteur extrême, pour ne pas avoir d'accident par l'iodure devenu visqueux sous l'influence de la chaleur.

Les appareils étant ramenés dans les conditions premières de leur surface, j'y ai fait de nouveau le vide avec toutes les précautions possibles, je les ai déposés sur le support servant à les suspendre, à l'état d'équilibre parfait, au plateau de la balance, et je les ai abandonnés à eux-mêmes pendant six heures.

Voici maintenant toutes les données numériques de ces deux opérations bien laborieuses :

PREMIÈRE ANALYSE.

IODATE PRÉPARÉ PAR LE SULFATE D'ARGENT ET L'IODATE DE POTASSIUM.

Avant la décomposition.

		gram.
1.	Poids de l'appareil à boule, après avoir été rempli d'azote pur, vide à $0^m,001$	602,3015
2.	— du même appareil avec l'iodate séché à 120°, après avoir été rempli d'azote, vide à $0^m,001$	700,6470
3.	— du précédent appareil, le lendemain	700,6474
4.	— du tube à cuivre, vide d'azote à $0^m,001$	472,7555
5.	— du système destiné à recueillir l'eau	852,5210
6.	— en bloc des appareils 3, 4 et 5	2005,9215
7.	— du témoin	105,2068

Après la décomposition.

1.	Poids en bloc du 6°, après six heures de refroidissement	2005,9220
2.	— en bloc des mêmes appareils, le lendemain	2005,9230
3.	— de l'appareil à boule, vide d'azote à $0^m,001$	685,8940
4.	— de l'appareil 3°, le lendemain	685,8945
5.	— du tube à cuivre, vide d'azote à $0^m,001$	489,4360
6.	— du tube à cuivre, le lendemain	489,4362
7.	— du système à eau, après six heures de refroidissement	852,5925
8.	— du système précédent, le lendemain	852,5928
9.	— du témoin	105,2072

D'où il résulte :

1.	Poids de l'iodate, dans l'air	98,5455
2.	— de l'iodate, dans le vide	98,5596
3.	— de l'eau dégagée	0,0715
4.	— de l'iodure d'argent, dans l'air	81,5950
5.	— de l'iodure d'argent, dans le vide	81,5880
6.	— de l'oxygène, dans l'air	16,6825
7.	— de l'oxygène, dans le vide	16,8815
8.	Somme des poids de l'iodure d'argent et de l'oxygène, dans le vide	98,2695
9.	Différence entre le poids de l'iodate employé et la somme des poids des éléments séparés	+ 0,0015

DEUXIÈME ANALYSE.

IODATE PRÉPARÉ PAR LE DITHIONATE D'ARGENT ET L'IODATE DE POTASSIUM.

—

Avant la décomposition.

		gram.
1.	Poids de l'appareil à boule, vide d'azote à $0^m,001$	928,5410
2.	— du même appareil, le lendemain	928,5415
3.	— de l'appareil avec l'iodate, vide d'azote à $0^m,001$	1085,4160
4.	— du tube à cuivre, vide d'azote à $0^m,001$.	472,8125
5.	— du même appareil, le lendemain	472,8130
6.	— du système à condensation de l'eau.	852,5950
7.	— du même système, le lendemain	852,5928
8.	— du témoin	105,2075

Après la décomposition.

1.	Poids de l'appareil avec l'iodure, vide d'azote à $0^m,001$ et après sept heures de refroidissement.	1058,7245
2.	— du même appareil, le lendemain	1058,7248
3.	— du tube à cuivre, vide d'azote à $0^m,001$, après six heures de refroidissement.	499,4230
4.	— du même tube, le lendemain	499,4230
5.	— du système à condensation de l'eau, après six heures de refroidissement.	852,6720
6.	— du système précédent, le lendemain.	852,6725
7.	— du témoin	105,2080

D'où il résulte :

1.	Poids de l'iodate, dans l'air.	156,8745
2.	— de l'iodate, dans le vide.	156,8649
3.	— de l'eau dégagée de l'iodate.	0,0790
4.	— de l'iodure, dans l'air	130,1855
5.	— de l'iodure, dans le vide.	130,1755
6.	— de l'oxygène, dans l'air	26,6100
7.	— de l'oxygène, dans le vide	26,6084
8.	Somme des poids de l'iodure d'argent et de l'oxygène, dans le vide.	156,7859
9.	Différence entre le poids de l'iodate employé et la somme des poids des éléments recueillis	— 0,0020

2° *Analyse par différence de l'iodate d'argent.*

L'iodate employé dans cette analyse a été préparé à l'aide de l'iodate de potassium et du dithionate d'argent. Dans mes *Recherches sur l'invariabilité des rapports en poids des éléments formant les combinaisons chimiques*, j'ai exposé les moyens auxquels j'ai eu recours pour me procurer le sel pur, et le but que je voulais atteindre en faisant une analyse par différence. Je ne reviendrai pas sur le premier sujet. Le sel qui a été soumis à l'expérience est une partie de celui qui m'a servi pour la deuxième analyse complète. En consacrant une partie de ce même composé à cette recherche, je désirais contrôler le résultat obtenu par la première méthode, et j'avais également le dessein de constater l'état de pureté du sel, afin que les conclusions déduites de ces résultats ne pussent pas être mises en doute.

L'iodate, préalablement séché à 180°, a été pesé dans un ballon à deux cols. Dans ce but, j'ai adapté à l'un de ces cols un robinet à l'aide d'un tube épais de *caoutchouc naturel*, fixé à l'aide d'une lame mince d'argent; l'autre col, que j'avais effilé, était fermé à l'aide d'une poche de caoutchouc naturel, fixée également à l'aide d'une lame métallique qui la couvrait complétement. Pour déterminer une adhérence convenable du caoutchouc sur le verre, sans dépolir les surfaces qui devaient le supporter, j'ai répandu, sur ces surfaces préalablement séchées et chauffées, une solution de caoutchouc dans l'anhydride sulfocarbonique. L'évaporation spontanée de cette solution laisse sur le verre propre et sec une pellicule de caoutchouc très-mince et fort adhérente. Cet appareil a été d'abord pesé vide d'air; après avoir enlevé le tube épais en caoutchouc ainsi que le robinet, j'ai introduit la quantité d'iodate sur laquelle je voulais opérer et j'ai fixé ensuite le tube de caoutchouc comme il l'était primitivement. Le vide étant fait de nouveau, j'ai déterminé le poids de l'appareil; j'ai été obligé de recourir à la pesée dans le vide à cause de l'état pulvérulent du sel. Le poids étant connu, j'ai enlevé la poche fermant le col effilé, et j'ai mis ce col en communication avec le système à eau que j'ai décrit et figuré à l'occasion de l'analyse complète du même sel. J'ai soumis alors le sel à l'action d'une chaleur suffisante pour en déterminer la fusion sans le décomposer. La fusion opérée, j'ai laissé solidifier de nouveau l'iodate;

mais pendant que l'appareil avait encore une température supérieure à 100°, j'y ai fait passer un courant d'air sec et pur, afin d'amener le peu de vapeur d'eau produite par la fusion dans le système destiné à sa condensation. Lorsque cinq à six litres d'air y eurent passé, à raison d'un litre par sept à huit minutes, je détachai le système à condensation de l'eau, et je l'abandonnai au refroidissement complet, à l'abri de toute altération de poids, pour en faire ensuite la pesée.

Dans mes *Recherches sur l'invariabilité des rapports en poids des éléments formant les combinaisons chimiques,* j'ai exposé avec les détails nécessaires le traitement auquel j'ai soumis l'iodate fondu pour le redissoudre et pour le réduire ensuite à l'état d'iodure. Je ne reviendrai pas ici sur ces détails; je me bornerai à dire que la dissolution a été opérée à l'aide de l'ammoniaque pure et diluée, et que la précipitation de l'iodate dissous a été effectuée à l'aide de l'acide sulfurique dilué et glacé. La réduction de l'iodate en iodure a eu lieu à l'aide d'une solution récente et saturée à 0° d'anhydride sulfureux. La séparation complète de l'iodure suspendu dans ce liquide a été produite par une élévation convenable de température et un repos suffisant du liquide éclairci.

J'ai déjà dit que ce liquide ne renfermait aucune trace d'iode à l'état d'acide iodhydrique, ni aucune trace d'argent à l'état de sulfate de ce métal.

Pour m'assurer si ce liquide ne renfermait pas des matières fixes qui, contenues dans l'iodate, auraient pu augmenter ainsi son poids et fausser le résultat, j'en ai introduit successivement les quatre cinquièmes dans une grande cornue de platine, où je l'ai soumis à l'évaporation en chauffant les parois latérales du vase; lorsque toute l'eau se fut volatilisée, et que, par l'action de la chaleur, la presque totalité du sulfate d'ammonium fut détruite et ramenée à l'état de vapeurs avec l'excès sulfurique, j'ai retiré de la cornue le faible résidu acide qui y restait, et je l'ai versé dans une petite capsule de platine pesée. Par une élévation suffisante de température, j'ai réduit à l'état de vapeur tout ce qui était susceptible de se volatiliser, et, après le refroidissement, le résidu laissé pesait $0^{gr},0024$. L'analyse spectrale m'a montré que ce résidu était essentiellement formé de sulfates de sodium, de potassium et de calcium, enlevés probablement au verre qui avait contenu les liquides alcalin et acide.

J'ai procédé au lavage *complet*, à la récolte, à la dessiccation et à la pesée de l'iodure produit à l'aide des moyens que j'ai longuement exposés dans la première partie de ce Mémoire, en parlant de la synthèse par *différence* et de la synthèse complète de l'iodure d'argent; il est sans intérêt de reproduire ces détails. Je me borne seulement à ajouter que je me suis assuré, après la pesée de l'iodure, qu'il était soluble, sans le moindre résidu, dans une solution de cyanure d'ammonium avec excès d'acide cyanhydrique, en donnant naissance à un liquide complétement limpide et incolore. Il ne contenait donc aucune trace d'iodure altéré, et il n'avait par conséquent perdu aucune trace d'iode. Du reste, toutes les opérations ont été exécutées dans la chambre obscure.

Voici toutes les données numériques de cette analyse et le résultat auquel elle conduit :

		gram.
1.	Poids du ballon à deux cols, vide d'air à $0^m,001$	513,0860
2.	— du même ballon avec l'iodate, vide d'air à $0^m,001$	589,6850
3.	— du même ballon, le lendemain, le vide étant rétabli . . .	589,6860
4.	— du système à condensation de la vapeur d'eau, avant la fusion de l'iodate	852,6724
5.	— du système à condensation de l'eau, après le passage de l'air humide sorti du ballon	852,7110
6.	— du tube à boule avec vase à précipité destiné à peser l'iodure d'argent	489,5165
7.	— des mêmes appareils contenant l'iodure séché.	553,0650
8.	— des mêmes appareils, le lendemain	553,0655

D'où je déduis :

1.	Poids brut de l'iodate.	76,5995
2.	— de l'eau dégagée par la fusion.	0,0385
3.	— réel de l'iodate, dans l'air	76,5607
4.	— réel de l'iodate, dans le vide	76,5561
5.	— de l'iodure d'argent, dans l'air.	63,5490
6.	— de l'iodure d'argent, dans le vide.	63,5600
7.	— de l'oxygène par *différence*, dans le vide	12,9961

Les trois analyses de l'iodate d'argent conduisent à la composition centésimale suivante :

	Par l'analyse complète.		Par l'analyse par différence.	
	I.	II.	III.	Moyenne.
Iodure . . .	83,024	83,028	83,0239	83,0253
Oxygène . .	16,976	16,972	16,9761	16,9747
	100,000	100,000	100,0000	100,0000

On déduit de cette composition les poids moléculaires de l'iodure d'argent :

I.	II.	III.	Moyenne.
234,760	234,820	234,757	234,779

En combinant ces données avec celles résultant des synthèses de l'iodure d'argent, indiquées dans la notice consacrée à ce sujet, on obtient le *poids atomique :*

	I.	II.	III.	Moyenne.
De l'argent .	107,918	107,950	107,917	107,928
Et de l'iode				126,857

V. — Nouvelles analyses du bromate d'argent.

Analyses par différence du bromate d'argent.

J'avais espéré mener à bonne fin une analyse complète du bromate d'argent par la méthode pratiquée pour l'analyse de l'iodate de ce métal; mais j'ai été déçu dans mon attente. Je fondais cet espoir sur un essai préliminaire fait sur une trentaine de grammes de bromate que, par l'action de la chaleur seule, j'étais parvenu à décomposer entièrement, en bromure et en oxygène, sans déflagration violente. En effet, le bromate maintenu à une température constante, à quelques degrés seulement au-dessus de son point de fusion, se décompose lentement, comme le chlorate de potassium, et donne très-régulièrement un courant d'oxygène entraînant des traces de bromate, de bromure

d'argent et de brome. Me basant sur cette donnée, j'avais disposé une analyse avec quatre-vingt-dix grammes environ de bromate. Le dégagement d'oxygène avait eu lieu pendant près de huit heures avec une régularité remarquable, lorsque, sans cause connue, un point de la masse est devenu incandescent; un développement subit de gaz en a été la conséquence, et la sphère dans laquelle la décomposition s'opérait a cédé à la pression intérieure, en produisant une épouvantable explosion qui a entraîné avec elle la destruction complète du tube à cuivre. Après l'explosion, l'atmosphère répandait une odeur très-sensible de brome.

Cet accident arrivé, je n'ai plus songé à recommencer l'opération, on le conçoit de reste. Les deux analyses du bromate que j'ai exécutées ont donc été faites par *différence*. Dans la deuxième partie de mon *Mémoire sur les lois des proportions chimiques*, j'ai fourni déjà quelques-uns des éléments de ces expériences. Le principe sur lequel je me suis basé est la réduction du bromate, à une basse température, par une solution d'acide sulfureux.

Il y a vingt-deux années, M. Marignac a essayé d'exécuter également l'analyse du bromate d'argent; mais il a été arrêté par une difficulté inattendue : c'est l'existence d'une petite quantité d'eau dans ce sel, lors même qu'il a été chauffé dans l'air ou dans le vide à une température comprise entre 150 et 180°. Je suis venu me heurter à la même difficulté, mais je l'ai tournée en prenant le parti de doser exactement l'eau, comme du reste j'ai été obligé de le faire dans l'analyse de l'iodate d'argent. Dans ce but, j'ai eu recours à la fusion du sel dans le ballon même où il devait être transformé en bromure, en recueillant avec tous les soins nécessaires la vapeur d'eau devenue libre.

Voici les dispositions que j'ai prises :

Dans un tube d'une capacité convenable, muni à ses deux extrémités de bouchons de verre rodés à l'émeri, j'ai introduit la quantité de bromate sur laquelle je voulais opérer. J'ai placé ce tube dans une étuve à air chauffé vers 150 à 160°, et j'ai fait passer sur le bromate un courant d'air sec et privé de matières organiques, jusqu'à ce que son poids fût devenu constant. Le poids du tube plein de bromate étant déterminé, je l'ai fait pénétrer ensuite jusqu'au fond d'un grand ballon plein d'air sec, également pesé. En inclinant convenablement le tube avec le ballon, j'y ai fait descendre lentement le bromate.

J'ai muni alors le ballon de son bouchon de verre percé de deux trous, au travers desquels passaient des tubes usés à l'émeri et courbés extérieurement à angle droit. Chaque branche extérieure de ces tubes courbés avait dix centimètres de long. Une des branches des tubes qui pénétraient dans le ballon, au travers du bouchon, était assez longue pour atteindre le milieu de la sphère.

J'ai cherché le poids du bromate, en déterminant d'un côté la perte de poids éprouvée par le tube à dessiccation après la sortie du sel, et de l'autre côté par l'augmentation de poids observée sur le ballon après y avoir introduit le bromate. J'ai eu recours à ce contrôle pour m'assurer si je pouvais me fier assez à l'exactitude de la pesée d'une matière dans un vase aussi spacieux que le ballon employé. Les poids constatés ont été absolument identiques lorsque le ballon eut reçu de l'air parfaitement séché et que sa surface eut repris, par un refroidissement suffisant, la couche d'humidité qu'elle perd par le maniement. Comme contre-poids du ballon, je me suis servi d'un autre ballon, de même volume et de même verre, conditions sans lesquelles on ne pourrait constater l'équilibre stable dans l'air.

La pesée du bromate étant faite, j'ai mis l'un des tubes, passant au travers du bouchon adapté au ballon, en communication avec le système à condensation de l'eau [1], et l'autre tube a été mis en rapport avec un appareil fournissant de l'air pur et complétement séché. En prenant toutes les précautions imaginables, j'ai soumis le bromate à la fusion; quand elle a été opérée, j'ai laissé faiblement refroidir le ballon pour provoquer la solidification du sel fondu, et j'ai fait traverser un courant lent d'air sec et pur jusqu'à ce que le peu de vapeur d'eau provenant de la fusion du bromate se fût rendue dans le système à condensation de l'eau. Dans ce but, quarante litres d'air environ ont passé par le ballon.

Après le refroidissement complet du système à eau, j'ai déterminé l'augmentation de poids qu'il avait éprouvée.

J'ai repris alors le bromate, fondu et refroidi, par la plus petite quantité possible d'ammoniaque pure et *titrée*, et, après avoir enveloppé le ballon d'une

[1] Le système à condensation employé est le même que celui qui m'a servi pour les analyses complètes et les analyses par différence de l'iodate d'argent.

toile noire, je l'ai fixé à demeure, dans une position de 45 degrés, au milieu de la glace concassée contenue dans un vase de bois placé sur la planchette d'un étrier oscillant, comme je l'ai décrit du reste avec les détails convenables dans mes *Recherches sur les lois des proportions chimiques*, p. 86 et suivantes. J'ai neutralisé l'ammoniaque employée par une quantité équivalente d'acide sulfurique dilué, *titré* et refroidi à 0°, et enfin j'ai procédé à la réduction du bromate à l'aide d'une solution titrée d'acide sulfureux refroidi à 0°. Lorsque la transformation en bromure fut accomplie, je chauffai lentement le liquide jusqu'à 68°, pour déterminer son éclaircissement et la séparation du bromure suspendu. Après un repos de *six heures* dans le bain maintenu chaud, j'enlevai à l'aide d'un siphon tout le liquide acide limpide; le volume total mesurait *quatre litres*.

Un litre en a été distrait pour chercher, dans une moitié, la présence de l'acide bromhydrique, et, dans une autre moitié, la présence du sulfate d'argent, comme je l'ai exposé dans mes *Recherches sur l'invariabilité des rapports en poids du brome à l'argent dans le bromate et le bromure d'argent*.

Les trois litres restants ont été successivement introduits dans une grande cornue de platine et soumis à l'évaporation avec les précautions nécessaires. La chaleur a été poussée jusqu'à la distillation de l'acide sulfurique et la destruction complète du sulfate d'ammonium; lorsque tout ce qui était susceptible de prendre la forme gazeuse se fut volatilisé, je mouillai les parois de la cornue par de l'acide azotique pur, et, après avoir chauffé le vase pour déterminer l'attaque de toutes les matières capables de se dissoudre, je recueillis l'acide azotique avec les eaux de lavage de la cornue dans une petite capsule de platine pesée. L'évaporation jusqu'à siccité du résidu laissé par ces *trois litres* de liquide a fourni $0^{gr},0018$ de sulfate, dans lequel l'analyse spectrale a fait reconnaître la présence du sodium et du potassium. On verra plus loin que le poids du bromate employé était de $86^{gr},6107$; il est donc parfaitement constant que ce sel était convenablement dépouillé du bromate de potassium qui avait servi à sa préparation. L'eau distillée, l'ammoniaque liquide, l'acide sulfurique, la solution d'acide sulfureux, qui sont intervenus dans l'opération, avaient été préparés avec des soins infinis.

J'ai procédé ensuite au lavage du bromure d'argent par les moyens que j'ai

longuement décrits dans l'exposé des synthèses de l'iodure et du bromure d'argent, moyens sur lesquels il est sans utilité de revenir. Le ballon contenant le bromure étant d'un volume trop considérable et la température trop élevée pour pouvoir l'agiter avec l'eau en le tenant par les mains, j'ai été obligé de recourir à un mécanisme pour opérer le lavage. Dans la notice consacrée à l'analyse du chlorate d'argent, je donne la description et le dessin de ce mécanisme qui, du reste, m'a servi dans presque toutes mes synthèses de l'iodure et du bromure d'argent.

Toutes les eaux de lavage ont été conservées pendant plusieurs jours au repos, dans des vases fermés, afin de les dépouiller du bromure en suspension. Après ce repos, je les ai filtrées au travers d'un double filtre, qui plus tard a été repris par une solution de cyanure d'ammonium, pour y rechercher l'existence du bromure d'argent. Enfin, j'ai évaporé toutes les eaux de lavage dans une grande capsule de platine, et j'ai achevé dans une grande cornue de platine la volatilisation de l'acide sulfurique et la destruction du sulfate d'ammonium, produits par l'évaporation de ces eaux. Le faible résidu ainsi obtenu a été repris par de l'acide azotique bouillant; le liquide acide étendu d'eau est devenu nuageux par l'addition d'une solution normale de brome, mais la quantité d'argent qu'il renfermait a été *trop faible* pour que j'aie pu en déterminer le poids.

Le bromure d'argent a été recueilli, séché et pesé dans un appareil à deux cols, que j'ai figuré dans ma notice sur la synthèse de l'iodure d'argent, p. 131.

Voici les données numériques des deux analyses que j'ai faites :

Première analyse.

		gram.
1.	Poids dans l'air du bromate, déterminé par différence dans le grand tube	86,5929
2.	— constant du grand ballon plein d'air sec.	672,8150
3.	— du même ballon après y avoir renouvelé l'air sec. . . .	672,8155
4.	— du ballon avec le bromate, après y avoir fait passer à 100° un courant d'air sec; trois heures de refroidissement. .	759,4055
5.	— du ballon précédent, après six heures de refroidissement.	759,4055
6.	— du même ballon, le lendemain pendant toute la journée.	759,4060

		gram.
7.	Poids du système à condensation de l'eau, avant le passage de la vapeur résultant de la fusion du bromate	832,7115
8.	— du témoin	105,2076
9.	— du système à condensation de l'eau, après le passage de l'air humide provenant du ballon	832,7758
10.	— du système précédent, le lendemain.	832,7764
11.	— du témoin après le courant.	105,2082
12.	— du ballon à deux cols et du vase à précipité.	465,6275
13.	— des mêmes appareils, avec le bromure d'argent chauffé à son point de fusion	532,5485
14.	— des mêmes appareils, le lendemain	532,5490

De ces données résulte :

1.	Poids, dans l'air, du bromate pesé par différence	86,5929
2.	— dans l'air, du bromate pesé dans le ballon	86,5925
3.	— dans le vide, du bromate avec l'eau retenue	86,6107
4.	— de l'eau dégagée par la fusion du bromate.	0,0650
5.	— du bromate réel, dans le vide [1]	86,5457
6.	— du bromure d'argent, dans l'air	86,9215
7.	— du bromure d'argent, dans le vide	68,9510
8.	— de l'oxygène (par différence), dans le vide	17,6147

Deuxième analyse.

1.	Poids du ballon plein d'air sec.	672,8135
2.	— constant du ballon avec le bromate, dans l'air sec . . .	774,8400
3.	— du système à condensation de l'eau *avant* la fusion du bromate	832,7780
4.	— du témoin *avant* la fusion.	105,2110
5.	— du témoin *après* la fusion.	105,2114
6.	— du système à condensation de l'eau, *après* la fusion du bromate	832,8385
7.	— d'un ballon à deux cols et d'un vase à précipité. . . .	489,5170
8.	— du même ballon, etc., avec le bromure d'argent, chauffé à son point de fusion	570,7425

D'où il résulte :

1.	Poids du bromate brut dans l'air.	102,0265
2.	— du bromate brut dans le vide.	102,0480

[1] Pour réduire le bromate brut au vide, j'ai admis que 1000 grammes de ce sel, pesés avec des poids de *platine*, perdent 0gr,13747 de leur poids par suite de l'air déplacé. Ce fait résulte de pesées directes, opérées dans le vide et dans l'air sec, dans lesquelles j'ai constaté que 100,000 de bromate, pesés dans l'air, pèsent 100,0205 dans le vide. M. Marignac avait trouvé que 100,000 du sel qu'il a fait cristalliser, pesés dans l'air ordinaire, représentent 100,021 dans le vide. Ces résultats sont identiques.

		gram.
3.	Poids de l'eau dégagée par la fusion	0,0605
4.	— du bromate réel, dans le vide.	101,9875
5.	— du bromure d'argent, dans l'air	81,2255
6.	— du bromure d'argent, dans le vide	81,2561
7.	— de l'oxygène (par différence), dans le vide.	20,7314

Les deux analyses du bromate d'argent conduisent à la composition centésimale suivante :

	I.	II.	Moyenne.
Bromure d'argent .	79,649	79,653	79,651
Oxygène.	20,351	20,347	20,349
	100,000	100,000	100,000

On déduit de cette composition le *poids moléculaire* du bromure d'argent :

I.	II.	Moyenne.
187,84	187,90	187,87

En combinant ces données avec celles résultant des synthèses de bromure d'argent, consignées dans la notice consacrée à ce sujet, on arrive aux poids atomiques suivants :

	I.	II.	Moyenne.
Pour l'argent . .	107,905	107,937	107,921
Pour le brome.			79,940

VI. — Nouvelles analyses du chlorate d'argent.

Analyses par différence du chlorate d'argent.

La propriété que présente le chlorate d'argent de se décomposer avec déflagration, sous l'influence de la chaleur, m'a empêché d'exécuter l'analyse complète de ce sel. J'ai dû nécessairement recourir à la méthode par différence. J'ai fait deux analyses par ce système, l'une sur du chlorate préparé par l'action du chlore sur le carbonate d'argent, l'autre sur du chlorate d'argent préparé par l'action du chlore sur l'oxyde de ce métal. Dans mes

Recherches sur la transformation du chlorate en chlorure, sous l'influence de l'acide sulfureux (voir *Mémoire sur les lois des proportions chimiques*, page 94), j'ai exposé longuement les moyens employés pour obtenir les sels analysés, les précautions que j'ai prises pour opérer leur réduction à l'aide de l'acide sulfureux et le résultat obtenu quant au but que je poursuivais. Je ne reviendrai pas ici sur ces détails, je me bornerai à faire connaître, le plus succinctement possible, les motifs de certaines dispositions auxquelles j'ai été obligé d'avoir recours pour me mettre à l'abri des causes d'erreurs, et la méthode que j'ai suivie pour laver, recueillir et peser le chlorure d'argent provenant de la réduction du chlorate employé.

La solution la plus limpide de chlorate d'argent, évaporée jusqu'à cristallisation dans le vide ou au bain marie à l'air libre, fournit un sel qui, étant repris par un volume d'eau quadruple ou quintuple de celui qui est nécessaire pour en opérer la solution, produit un liquide *opalin*. Cette opalinité est due à du chlorure d'argent. Une élévation de température détermine l'éclaircissement du liquide, avec dépôt de quelques flocons de chlorure d'argent. On a beau répéter les dissolutions et les évaporations, le même phénomène se représente *indéfiniment*. Dans ses travaux sur le chlorate d'argent, M. Marignac a déjà signalé cette production du chlorure; elle est une cause d'erreur qui a pour résultat d'élever le poids moléculaire du chlorure d'argent. D'après mes observations, la réduction éprouvée par le chlorate d'argent est due à l'action des matières organiques répandues dans le vide ou dans l'air. Ce qui le prouve, c'est qu'on peut évaporer à chaud une solution de chlorate sans qu'elle s'altère, lorsqu'on fait passer sur cette solution un courant d'air dépouillé de matières organiques par son contact avec de l'oxyde de cuivre chauffé au rouge; mais je n'ai pas pu employer ce moyen, à cause des grandes quantités de solution que j'avais à évaporer. J'ai donc dû employer des sels contenant de très-faibles quantités de chlorure interposé, en déterminant dans l'expérience même la séparation et la pesée du chlorure mêlé.

Une autre cause d'erreur réside dans l'eau qui est retenue entre les petites lamelles du chlorate. Je me suis assuré directement, par l'opération même, que la quantité d'eau, retenue par un sel chauffé jusqu'à 150°, varie entre

six et huit cent millièmes. La porphyrisation ou la fusion sont les seuls moyens d'éliminer ces traces d'eau.

Ces deux faits m'ont amené à procéder, de la manière suivante, à la détermination du poids réel du chlorate, abstraction faite du chlorure et des traces d'eau que renfermait le sel soumis à l'expérience.

J'ai pris un grand ballon en verre dur de Bohême, surmonté d'un flacon bouché à l'émeri et à fond percé; après avoir déterminé son poids plein d'air sec, j'y ai introduit la quantité de chlorate destinée à l'analyse. Ce chlorate, en poussière cristalline, avait été préalablement chauffé à 150°, dans un courant d'air sec et dépouillé de matières organiques. J'ai placé ce ballon dans une étuve à air chaud analogue à celle que j'ai figurée et décrite dans la *Notice sur la synthèse de l'iodure d'argent*, pages 126 et suivante. J'ai élevé avec la plus grande lenteur la température du bain d'air. Lorsque le thermomètre placé au-dessous du ballon atteignit 243° dans une expérience et 245° dans une autre, les deux tiers du chlorate étaient fondus.

Berzélius indique 230° pour le point de fusion du chlorate d'argent. Ce sel fondu se présente sous la forme d'un liquide immobile, incolore, huileux comme l'azotate d'argent fondu. Pendant l'action de la chaleur j'ai fait circuler de l'air pur et sec au travers du ballon, et en quantité suffisante pour éliminer la dernière trace d'eau devenue libre. J'ai ensuite laissé refroidir le ballon dans le même courant d'air pur.

Le sel solidifié était blanc, rayonné; dans une des deux expériences il avait une légère teinte violacée par transparence. Après avoir lavé à l'eau distillée le ballon bien refroidi, je l'ai pesé une deuxième fois plein d'air sec. Dans mes *Recherches sur la transformation du chlorate en chlorure, sous l'influence de l'acide sulfureux*, j'ai dit que le sel, après sa solidification, a été repris par un volume d'eau pure suffisante pour le dissoudre, et suffisante en même temps pour que l'addition d'une nouvelle quantité d'eau à la solution produite n'augmentât plus le trouble occasionné par la dissolution dans le premier volume d'eau employé.

J'ai chauffé la solution jusqu'à 80°, pour déterminer l'éclaircissement complet du liquide et la précipitation du chlorure qui, dans une expérience, était violacé, quoique toutes les opérations eussent été effectuées dans la chambre

obscure. J'ai suffisamment exposé, dans ces mêmes recherches, comment j'ai opéré le transvasement du liquide reposé dans un ballon de quinze litres, et comment j'ai lavé le ballon et les flocons de chlorure qui y étaient contenus, pour ne pas perdre une trace de chlorate et de chlorure.

Le ballon renfermant les flocons de chlorure a été séché et chauffé au même point que lorsqu'il contenait du chlorate en fusion. Après l'avoir rempli de nouveau d'air pur et sec, je l'ai pesé une troisième fois. Lorsque son refroidissement a été complet, j'ai pris, pour poids du chlorate dans l'air, la différence que j'ai trouvée entre le poids du ballon contenant le chlorate fondu et le poids du ballon renfermant les quelques flocons de chlorure.

La solution de chlorate, *absolument limpide* et inaltérable à la lumière, devait nécessairement être privée de chlorure en suspension. Je n'ai pu découvrir de moyen pour m'assurer si, malgré sa limpidité et son inaltérabilité à la lumière, le liquide n'en contenait point des traces en solution. La seule chose que je puisse affirmer, c'est que l'addition de l'eau n'y a produit aucun trouble. Comme le sel qui a fourni la solution a été fondu, il est certain qu'il était privé d'eau.

Pour vérifier le poids du chlorure laissé par la dissolution du chlorate, j'ai repris le chlorure par du cyanure d'ammonium, et, après avoir bien lavé et séché le ballon, je l'ai pesé une quatrième fois, rempli d'air sec.

J'ai dit également comment j'ai procédé à la réduction du chlorate en chlorure, sous l'influence de la solution d'acide sulfureux saturée à 0°; je renvoie pour ces détails au *Mémoire sur la transformation du chlorate en chlorure*. Je veux seulement indiquer les opérations auxquelles j'ai soumis le liquide acide et limpide provenant de la réduction du chlorate, et les eaux de lavage du chlorure.

Dans la première expérience, j'ai évaporé jusqu'à siccité complète *deux litres et demi* du *liquide acide* abandonné au repos pendant plusieurs jours; et, dans la seconde expérience, j'ai évaporé jusqu'à siccité complète trois litres du liquide acide, décanté et parfaitement limpide. J'ai été impuissant pour découvrir, dans les traces du résidu, les *moindres vestiges d'argent*. J'y ai trouvé du sodium et du fer, comme on en découvre dans les résidus de tous

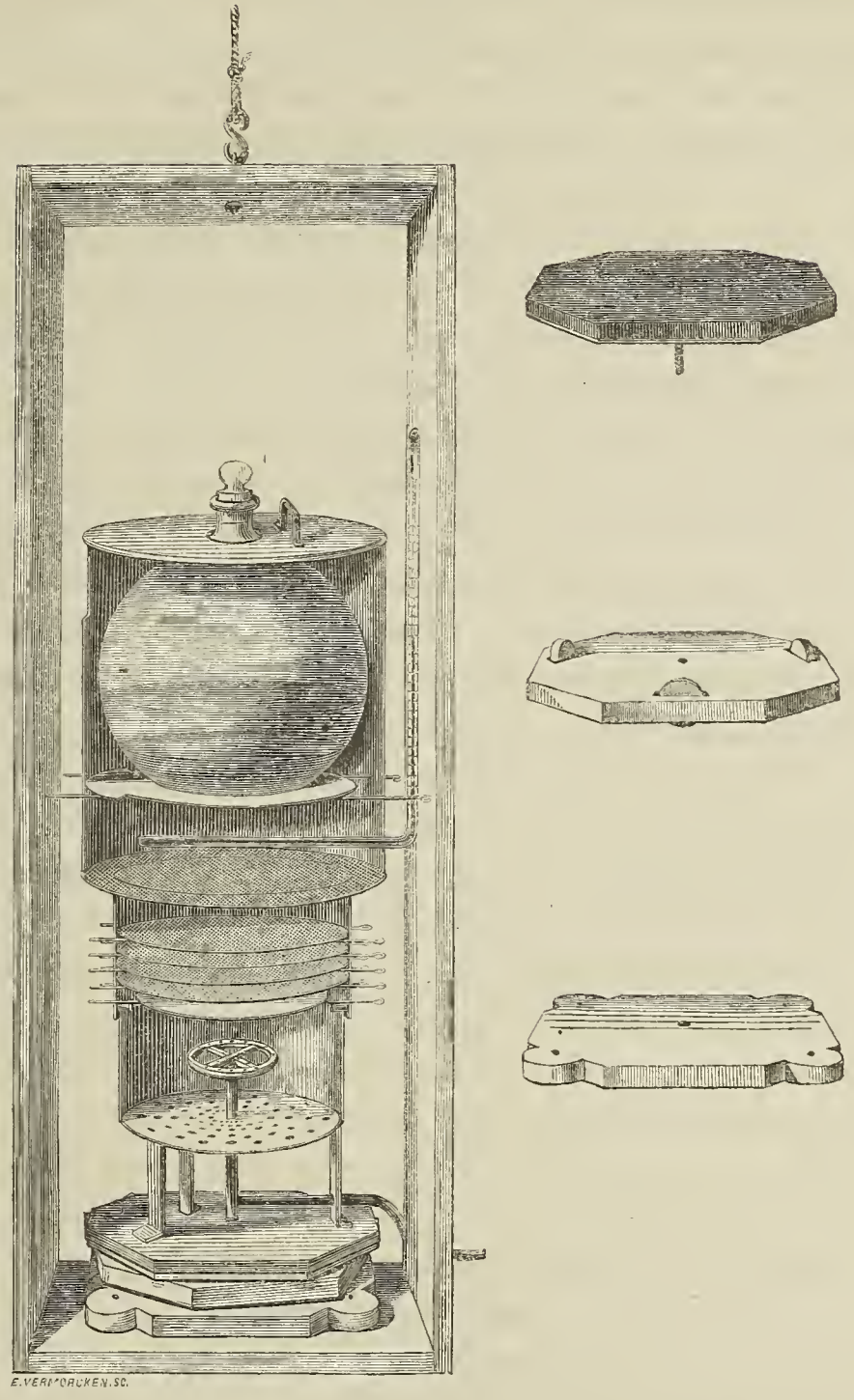
les liquides acides qu'on évapore au contact de l'air. Je n'ai point trouvé non plus de traces du potassium qui avait servi à préparer le carbonate et l'oxyde destinés à la production du chlorate.

J'ai évaporé *six litres d'eau de lavage* du chlorure de la première analyse; elle avait séjourné huit jours dans des flacons bouchés, à l'abri de la poussière de l'air, afin de déposer les traces de chlorure qu'elle avait pu accidentellement entraîner. Le résidu de cette évaporation renfermait du sodium et du fer provenant des poussières de l'air; mais toutes mes recherches n'ont pu y découvrir la moindre trace d'argent.

J'ai voulu m'assurer si le chlorure ne serait pas entraîné avec la vapeur d'eau. Dans cette intention, j'ai condensé la vapeur provenant de l'évaporation des eaux de lavage. Le liquide limpide recueilli est resté absolument incolore par l'addition d'une solution d'acide sulfhydrique. D'ailleurs, les eaux de lavages elles-mêmes restent parfaitement incolores après le passage d'un courant d'acide sulfhydrique. Le dépôt de soufre, qui s'y produit au bout d'un certain temps, étant chauffé suffisamment, ne laisse absolument aucun résidu. Je crois qu'il n'est pas dans la puissance de l'homme de découvrir de l'argent dans de l'eau pure ou acidulée par l'acide sulfurique qui a reçu le contact du chlorure d'argent. *Je crois donc pouvoir affirmer que le poids de chlorure constaté après le lavage est bien celui que le chlorate a fourni, ni plus ni moins.*

L'agitation du chlorure avec l'eau, dans un ballon de quinze litres, capacité de celui dont je me suis servi pour opérer la réduction du chlorate, est fort difficile, surtout lorsque la température du vase dépasse 50°; pour ce motif, j'ai procédé à cette opération à l'aide d'un moyen mécanique. Ce moyen consiste à placer le ballon dans une étuve à air chaud, reposant sur un système auquel on peut imprimer alternativement un mouvement de rotation sur lui-même et un mouvement d'oscillation.

Fig. 16.



L'étuve, figurée ci-dessus, se compose d'un fourneau à gaz muni d'une plaque et de toiles métalliques pour régulariser le courant; le fourneau est surmonté d'un cylindre destiné à recevoir le ballon. Ce cylindre est fermé

par un couvercle de tôle, percé au centre d'une ouverture circulaire qui laisse passer le col du ballon; sur le côté du cylindre il y a une rainure par laquelle s'échappent les produits de la combustion du gaz, et dans laquelle s'engage le col du ballon lorsqu'on vient à le poser dans une position inclinée.

Le fourneau repose sur un plan de bois recouvert d'une plaque de métal. Ce plan porte au centre un axe d'acier poli qui traverse librement un *deuxième* plan, pour s'engager dans une ouverture pratiquée dans un *troisième* plan de bois. Le deuxième plan est muni de trois tronçons de cylindre ou roulettes en bois de buis, tournant, autour d'axes en acier, dans des cavités équidistantes pratiquées verticalement dans ce deuxième plan de bois. Ces roulettes ont deux centimètres de diamètre de plus que la hauteur du plan dans lequel elles sont engagées; il en résulte que le plan supérieur repose sur ces cylindres, qui sont susceptibles de tourner sur leurs axes, et que le deuxième plan repose à son tour, par ces cylindres, sur le troisième. Ces trois plans sont rendus solidaires par l'axe d'acier fixé au centre du premier. Le plan inférieur porte trois vis collantes qui s'engagent dans le plancher de l'étrier oscillant, ainsi que le montre la figure de la page précédente.

Par l'oscillation de l'étrier, on peut donc imprimer à tout le système un mouvement autour du point de suspension, et, par la rotation du plan qui supporte l'étuve, on peut à tout moment changer le sens du mouvement. Avec un peu d'habitude, on parvient à régulariser parfaitement le mouvement des matières contenues dans le ballon, de manière à ne pas produire de projection. Le même appareil a servi pour effectuer à chaud le lavage de l'iodure, du bromure et du chlorure d'argent, en plaçant dans l'étuve des ballons ou des flacons.

A l'occasion de la synthèse de l'iodure et du bromure d'argent, j'ai insisté sur la difficulté que j'ai rencontrée pour enlever à ces corps la dernière trace d'acide sulfurique au sein duquel ces corps avaient été produits. La difficulté d'enlever la dernière trace de cet acide au chlorure d'argent est bien plus grande encore : ce corps est plus caséeux, et il est en outre sujet à se pelotonner au sein de l'eau, sous l'influence d'un mouvement d'oscillation. Cet accident m'est arrivé à plusieurs reprises, *dans une même expérience*, et je ne suis parvenu à rendre de nouveau ce chlorure pulvérulent qu'en provo-

quant son délayement à l'aide de *l'eau froide* sous l'influence du mouvement.

Pour rendre au liquide sa limpidité, lorsque le délayement eut été produit, j'eus recours au moyen que j'avais appliqué déjà à l'iodure et au bromure d'argent, c'est-à-dire à l'introduction de la vapeur d'eau dans le liquide laiteux. Cet artifice réussit infailliblement, mais on doit prendre la précaution de ne pas laisser barboter la vapeur *dans le chlorure même*, car le barbotage de la vapeur pelotonne rapidement ce corps, en même temps qu'elle en détermine la contraction.

Après l'addition de chaque quantité d'eau pure et suffisamment chaude, on a maintenu le chlorure et le liquide en mouvement, pendant une quinzaine de minutes. Le lavage complet, à des températures croissantes, a duré *sept jours;* pendant la nuit, le ballon était fermé et le bain d'air était maintenu chaud pour empêcher le délayement. Toutes les eaux de lavage ont reposé plusieurs jours dans des vases fermés. Après ce repos, toutes ont été passées par un double filtre. Le chlorure a été recherché dans ce filtre à l'aide d'une solution diluée et récente de cyanure d'ammonium mêlée d'acide cyanhydrique. Les eaux étaient si bien dépouillées de chlorure, qu'il m'a été impossible de découvrir dans la solution de cyanure la moindre trace d'argent.

Indistinctement, tous les vases qui ont contenu du chlorure, ceux qui ont servi à renfermer les eaux de lavages, ont été traités au cyanure d'ammonium. La solution, après avoir été légèrement acidulée par l'acide chlorhydrique, a été évaporée jusqu'à siccité, et les quelques milligrammes de chlorure d'argent, ainsi obtenus, ont été ajoutés à l'énorme masse de chlorure réuni dans le ballon à deux cols, dans lequel sa dessiccation et sa pesée été accomplies.

Dans la deuxième analyse, j'ai soumis à la fusion, dans une atmosphère d'acide chlorhydrique, le chlorure d'argent chauffé à son point de fusion, et préalablement pesé. En soumettant ce corps à l'action de l'acide chlorhydrique, j'avais pour but de m'assurer s'il ne retenait pas de l'acide sulfurique. L'opération terminée, j'ai remplacé, à chaud, l'acide chlorhydrique par de l'air sec. Je n'ai pas vu de trace de vapeurs d'acide sulfurique, et le poids du chlorure a été le même, à deux milligrammes près.

Les opérations que je viens d'exposer brièvement ont été si longues, si laborieuses et si pénibles, qu'aujourd'hui, après une année d'intervalle, le souvenir de la fatigue que j'en ai éprouvée n'est pas encore effacé de mon esprit, et j'avoue que le courage me manquerait pour les recommencer. Du reste, il n'existe, dans les annales des sciences, aucune analyse faite sur une pareille masse d'un sel si difficile à obtenir pur.

Je vais donner maintenant les chiffres de ces deux analyses.

Première analyse.

			grm.
1.	Poids du ballon plein d'air sec.	. . . . .	515,5500
2.	— du même ballon, l'air étant renouvelé	. . . . .	515,5505
3.	— du ballon avec le chlorure fondu, après quatre heures de refroidissement.	. . . . .	652,5210
4.	— du même ballon, le lendemain	. . . . .	652,5225
5.	— du même ballon, le surlendemain	. . . . .	652,5220
6.	— du ballon après la dissolution du chlorate, mais contenant des flocons de chlorure d'argent, après cinq heures de refroidissement.	. . . . .	515,5725
7.	— du même ballon, le lendemain	. . . . .	515,5730
8.	— du même ballon chauffé une deuxième fois, l'air sec étant renouvelé, après six heures de refroidissement	. . .	515,5735
9.	— du même ballon, le lendemain	. . . . .	515,5730
10.	— du ballon après la dissolution du chlorure d'argent par le cyanure d'ammonium, après trois heures de refroidissement	. . . . .	515,5290
11.	— du même ballon, le lendemain	. . . . .	515,5505
12.	— du ballon à deux cols, avec bourre de platine et vase à précipité, chauffés à 500°, et après cinq heures de refroidissement	. . . . .	497,8610
13.	— des mêmes appareils, le lendemain	. . . . .	497,8612
14.	— des mêmes appareils, avec le chlorure d'argent chauffé à son point de fusion, et après huit heures de refroidissement	. . . . .	601,8295
15.	— des mêmes appareils, le lendemain	. . . . .	601,8297
16.	— des mêmes appareils, le surlendemain	. . . . .	601,8295

D'où il résulte :

1.	Poids du chlorate réel, dans l'air	. . . . .	158,7490
2.	— du chlorate réel, dans le vide	. . . . .	158,7890

		gram.
3.	Poids du chlorure, dans l'air	105,9687
4.	— du chlorure, dans le vide	105,9795
5.	— de l'oxygène (par différence), dans le vide	34,8095

Deuxième analyse.

1.	Poids du ballon plein d'air sec.	513,5500
2.	— du ballon avec le chlorate fondu, plein d'air sec, après six heures de refroidissement	775,0620
3.	— du même ballon, le lendemain	775,0625
4.	— du ballon, plein d'air sec, avec le chlorure qui était ou dissous ou suspendu dans le chlorate.	513,6080
5.	Même ballon, le lendemain	513,6090
6.	Poids du ballon précédent, chauffé à 150° dans un courant d'air sec; après six heures de refroidissement	513,6085
7.	— du même ballon, le lendemain	513,6085
8.	— du ballon à deux cols avec bourre de platine et vase à précipité.	658,8065
9.	— des mêmes appareils contenant le chlorure d'argent chauffé à son point de fusion; après cinq heures de refroidissement	855,2507
10.	— des mêmes appareils, le lendemain	855,2515
11.	— des mêmes appareils, avec le chlorure *fondu* dans une atmosphère d'acide chlorhydrique; l'atmosphère a été remplacée à chaud par de l'air sec; douze heures de refroidissement.	855,2290
12.	— du même appareil, le lendemain.	855,2292

D'où il résulte :

1.	Poids du chlorate réel, dans l'air	259,4555
2.	— du chlorate réel, dans le vide	259,5287
3.	— du chlorure *non fondu*, dans l'air	194,4255
4.	— du chlorure *non fondu*, dans le vide	194,4455
5.	— du chlorure *fondu*, dans l'air	194,4235
6.	— du chlorure *fondu*, dans le vide	194,4435

Les deux analyses du chlorate d'argent conduisent à la composition centésimale suivante :

	I.	II.	Moyenne.
Chlorure d'argent	74,919	74,922	74,9205
Oxygène	25,081	25,078	25,0795
	100,000	100,000	100,0000

On déduit de cette composition le *poids moléculaire* suivant pour le chlorure d'argent :

I.	II.	Moyenne.
143,385	143,407	143,395

En admettant que 100,000 d'argent produisent 132,850 de chlorure de ce métal, comme cela résulte des synthèses que j'ai publiées dans mon précédent travail, et comme du reste M. Penny et M. Marignac l'ont trouvé avant moi, et en combinant ces données avec celles fournies par les analyses du chlorate, j'arrive aux poids atomiques suivants :

	I.	II.	Moyenne.
Pour l'argent.	107,929	107,947	107,937
Et pour le chlore			35,458

Conclusions des synthèses de l'iodure, du bromure d'argent, et des analyses de l'iodate, du bromate et du chlorate d'argent.

Si je récapitule les résultats auxquels conduisent les synthèses et les analyses consignées dans ce Mémoire, je trouve, pour poids atomique de l'argent, les nombres suivants :

	I.	II.	III.	Moyenne.
D'après la synthèse de l'iodure et l'analyse de l'iodate.	107,918	107,950	107,917	107,928
D'après la synthèse du bromure et l'analyse du bromate	107,905	107,957	—	107,921
D'après la synthèse du chlorure et l'analyse du chlorate.	107,929	107,947	—	107,957

Ces sept déterminations de poids atomiques, faites à l'aide de *trois corps différents*, et par des *procédés indépendants*, donnent en *moyenne générale* 107,929.

Les éléments dont j'ai déduit ces moyennes présentent entre eux un écart qui est à peu près égal pour tous; cet écart est incontestablement dû à l'erreur inévitable dans les expériences; on est surpris qu'il ne soit pas plus considérable, lorsque l'on voit trois à quatre cents millièmes de différence, dans

la composition centésimale, produire une différence presque égale dans la valeur du poids atomique lui-même.

Je crois donc qu'au point de vue de l'expérience on doit considérer tous ces chiffres comme identiques, et qu'on doit envisager le poids atomique de l'argent, déduit des combinaisons que ce corps contracte avec l'iode, avec le brome et avec le chlore, comme étant invariablement le même.

Si je compare maintenant le poids atomique moyen et les chiffres extrêmes aux résultats qui dérivent des déterminations faites antérieurement, soit par M. Marignac, soit par moi, j'arrive aux conclusions suivantes :

En 1843, M. Marignac a trouvé par la synthèse du chlorure et l'analyse du chlorate, en moyenne.	107,915
En rattachant l'argent au chlore par le chlorure et le chlorate de potassium, il a obtenu en moyenne.	107,920
Deux années plus tard, l'analyse des sels d'argent à acides organiques l'a conduit à.	107,950
Dont la moyenne est.	107,928
Des recherches consignées dans mon Mémoire publié en 1860, il résulte que, reliant l'argent au chlore par le chlorure et le chlorate de potassium, on obtient	107,945
Tandis que la synthèse du sulfure et l'analyse du sulfate d'argent m'ont donné.	107,920
La moyenne de ces deux déterminations est.	107,951

Les trois moyennes

1° 107,928 (Marignac);
2° 107,951 (Stas);
3° 107,929 (Stas);

sont donc identiques. Je conclus de ce qui précède que le poids atomique de l'argent, déterminé par des méthodes différentes et par des corps différents, est une véritable constante, et que cette constante est égale à 107,93, l'oxygène étant 16,00.

Si je recherche le poids atomique du chlore, du brome et de l'iode à l'aide des éléments qui ont servi à fixer la constante de l'argent, j'arrive aux résultats suivants :

En ce qui concerne le *chlore :*

En 1843, M. Marignac a trouvé par deux méthodes différentes. . .	35,455
Des analyses et des synthèses consignées dans mon Mémoire de 1860, on déduit.	35,460
Des analyses du chlorate décrites dans ce Mémoire, combinées avec les synthèses consignées dans mon précédent travail, je déduis. . .	35,458
Ou, en moyenne	35,457

En ce qui concerne le *brome :*

En 1843, M. Marignac a déduit de la synthèse du bromure d'argent. .	79,945
En rattachant le bromure de potassium à l'argent, il a obtenu . . .	79,968
Des synthèses du bromure d'argent et des analyses du bromate consignées dans le présent travail, je déduis.	79,940
Ou, en moyenne	79,951

Enfin, en ce qui concerne l'*iode :*

M. Marignac a obtenu par la synthèse de l'iodure d'argent.	126,840
En rattachant l'argent à l'iodure de potassium, il a trouvé.	126,847
De mes synthèses de l'iodure d'argent et de l'analyse de l'iodate, je déduis.	126,857
En moyenne	126,848

Les travaux de M. Marignac, exécutés à l'aide de moyens d'une si grande simplicité, conduisent donc absolument, pour le poids atomique du chlore, du brome, de l'iode et de l'argent, au même résultat que mes propres recherches, dans lesquelles j'ai dû employer des procédés souvent très-compliqués, pour me mettre à l'abri de causes d'erreur ou pour prévenir des objections contre les résultats.

TROISIÈME MÉMOIRE.

RECHERCHES FAITES DANS LE BUT DE DÉTERMINER ET DE CONTRÔLER LE POIDS ATOMIQUE DE L'AZOTE, DU BROME, DU CHLORE, DE L'ARGENT, DU LITHIUM, DU POTASSIUM ET DU SODIUM.

PRÉLIMINAIRES.

Dans ce travail, je me suis proposé de *contrôler* les poids atomiques de l'azote, du brome, du chlore, de l'argent, du potassium, du sodium et du lithium. Je vais exposer successivement les moyens que j'ai employés dans cette intention.

Des recherches que j'ai fait connaître en 1860, je me suis cru autorisé à conclure que le poids atomique de l'azote n'est point représenté par 14,00, l'oxygène étant 16,00, comme la plupart des chimistes l'admettent aujourd'hui. En effet, mes synthèses de l'azotate d'argent conduisent à un chiffre compris entre 14,041 et 14,046. Ce nombre se confond avec 14,056 que l'on déduit des travaux de M. Regnault sur la pesanteur spécifique de l'azote, en fonction de l'oxygène. Je n'ignore point quelles sont les objections que l'on peut faire contre le choix du moyen auquel j'ai eu recours pour établir ce chiffre. Il présuppose, en effet, la connaissance du poids atomique de l'argent, et il présente surtout le grand inconvénient de déduire une valeur relativement faible d'un poids atomique très-élevé, comme l'est celui de ce métal; mais ayant trouvé une valeur plus faible que 108, qui est le nombre admis

actuellement par la plupart des chimistes, l'erreur que je puis avoir commise n'a pu que diminuer le poids atomique de l'azote, au lieu de l'augmenter.

Quoi qu'il en soit, j'ai cherché à soumettre mes recherches à un contrôle sérieux et efficace. Dans ce but, j'ai désiré faire l'analyse de l'oxyde azoteux, d'après le système exposé dans mon *Mémoire sur les poids atomiques de l'argent, de l'iode, du brome et du chlore*, c'est-à-dire en pesant le composé et chacun de ses éléments isolés. Je voulais liquéfier de l'oxyde azoteux dans une sphère métallique creuse, peser le système, faire passer ensuite le gaz au travers d'un tube de verre chauffé au rouge et renfermant du cuivre réduit par l'oxyde carbonique, pour fixer l'oxygène, et recueillir l'azote devenu libre dans un ballon suffisamment spacieux. Mais jusqu'ici je n'ai trouvé aucun mécanicien qui ait osé entreprendre la construction de la sphère métallique et ses accessoires, dans les conditions que je crois absolument indispensables pour la réussite de l'expérience.

J'aurais pu tenter l'analyse de l'oxyde azoteux, en pesant seulement l'oxygène et l'azote provenant d'un poids *inconnu* de ce gaz, par exemple, et en me servant du moyen que MM. Dumas et Boussingault ont employé pour déterminer la composition de l'air atmosphérique; mais je n'ai point trouvé, dans cette méthode, des garanties qui pussent compenser le travail que je devais entreprendre pour exécuter les expériences.

J'ai donc été obligé d'avoir recours à des moyens de contrôle indirects. Celui auquel je me suis arrêté consiste dans la *transformation en azotates des chlorures des métaux* dits *alcalins*. Cette méthode a déjà été appliquée en 1839, par M. Frederick Penny, de Glascow, aux chlorures de potassium et de sodium [1]. Les chlorures sur lesquels j'ai opéré sont ceux de potassium, de sodium et de lithium. J'ai jugé convenable de déterminer préalablement le poids atomique de ce dernier métal, afin de pouvoir contrôler mes expériences avec plus de certitude.

La transformation d'un chlorure en azotate permet de contrôler un poids atomique de l'azote, donné, du moment que le poids atomique du métal

[1] *On the Application of the Conversion of Chlorates and Nitrates into Chlorides and of Chlorides into Nitrates to the Determination of several equivalent Numbers;* by Frederick Penny, esq. Philosophical Transactions, 1839, p. 13.

contenu dans le chlorure est supposé connu, de même qu'on peut vérifier le poids atomique du métal, en supposant connus les poids atomiques de l'azote et du chlore.

En effet, d'après la loi des proportions définies et d'après la composition des azotates, la différence entre le poids d'une molécule d'un chlorure et celui d'une molécule d'un azotate correspondant, doit être égale à une constante représentée par la différence entre le poids atomique du chlore et la somme des poids d'un atome d'azote et de trois atomes d'oxygène. En prenant, conformément à l'hypothèse de Prout :

Le chlore	= 35,50
L'azote.	= 14,00
L'oxygène.	= 16,00
La constante est égale à	26,50

Si l'on substitue, à ces poids atomiques hypothétiques, ceux qui sont consignés dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, on a :

	Maximum.		Minimum.
	—		—
Le chlore	= 35,460	à	35,457
L'azote	= 14,046	à	14,041
Et la constante	= 26,586	à	26,584

Ou une différence de 0,086 à 0,084, c'est-à-dire près d'*un dixième* d'atome d'hydrogène. Ce dixième d'atome d'hydrogène représente exactement la différence qui existe entre la valeur des poids atomiques du chlore et de l'azote, calculés d'après l'hypothèse de Prout, et celle déduite de mes déterminations expérimentales.

On a en effet :

35,500 — 35,46	= + 0,040
14,046 — 14,00	= + 0,046
Dont la somme	= + 0,086

On voit immédiatement que cette différence est tellement grande, qu'elle doit produire un écart beaucoup plus considérable que celui qui peut être

légitimement attribué aux erreurs d'observation. Aussi est-ce la grandeur de cet écart qui m'a déterminé dans le choix de ce moyen de contrôle.

La transformation des chlorures en azotates, si simple en principe, a été d'une exécution très-délicate. En effet, j'ai eu à lutter contre deux obstacles : l'altérabilité des vases de verre ordinaire, sous l'influence des acides et des azotates fondus, et la difficulté que présente la préparation des chlorures alcalins purs, en quantité suffisamment grande pour me permettre de répéter plusieurs fois chaque opération. J'exposerai en détail, dans des notices séparées, les moyens employés pour vaincre toutes ces difficultés.

Je donnerai ensuite les *nouvelles synthèses de l'azotate d'argent*, entreprises dans le but de vérifier l'exactitude de mes anciens résultats et de déduire, avec certitude, le poids atomique de l'azote du rapport en poids du chlorure et de l'azotate d'argent produits par une unité de poids d'argent.

Je terminerai ce Mémoire par l'exposé des déterminations du *Rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent*, que j'ai faites pour contrôler à la fois le poids atomique du potassium et du brome

I. — De la transformation des chlorures en azotates.

1° *Des vases employés dans les opérations.*

Dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, j'ai constaté déjà que le verre commun des cornues, des ballons, etc., cède à la température ordinaire, aux acides chlorhydrique et azotique, des traces des métaux qu'il renferme. Il est impossible d'y évaporer jusqu'à siccité l'acide le plus pur, sans qu'il laisse un résidu salin. Le verre dur de Bohême, dit réfractaire, et, en général les verres privés d'alumine et contenant un excès de silice résistent presque indéfiniment à l'attaque des acides concentrés et chauds. La fabrication des ballons, des matras, des cornues en verre réfractaire présente de grandes difficultés ; les ouvriers les plus habiles ne parviennent pas toujours à le travailler lorsqu'il s'agit de donner des dimensions un peu considérables aux objets. J'ai été à plusieurs reprises témoin de ce fait.

Voulant rechercher dans quelles conditions de composition le verre doit se trouver, pour être à la fois inattaquable par les acides et assez fusible pour que le travail n'en devienne pas trop difficile, je me suis décidé à faire, dans une verrerie même, des essais de fabrication. Ces recherches m'ont démontré que le verre à base de sodium et de calcium, lorsqu'il renferme un excès suffisant d'anhydride silicique, résiste à peu près aussi bien aux acides que le verre réfractaire de Bohême presque exclusivement à base de potassium et de calcium ; mais on sait qu'un mélange en poids moléculaires égaux de carbonates de potassium et de sodium est beaucoup plus fusible que le plus fusible des deux carbonates à l'état isolé. Me basant sur ce fait, j'ai été conduit à essayer de remplacer dans la composition du verre réfractaire, *inattaquable* par les acides, une partie du potassium par une quantité équivalente de sodium. Le résultat a complétement répondu à mon attente.

Je suis parti de cette donnée, que, pour obtenir un verre, à base de potassium et de calcium, très-réfractaire et inattaquable par les acides, il faut qu'il contienne environ :

Anhydride silicique	75,00
Oxyde de potassium	15,00
— de calcium	10,00
	100,00

En remplaçant, dans ce verre, la moitié du potassium par son équivalent de sodium, on a :

Anhydride silicique	77,00
Oxyde de potassium	7,70
— de sodium	5,00
— de calcium	10,30
	100,00

Dans ce verre, les bases sont entre elles dans le rapport de : un atome de calcium $Ca'' = 40$ pour un atome de potassium et un atome de sodium.

Sur ces données, j'ai fait exécuter des essais de fabrication, et l'on s'est servi à cet effet de sable fin et pur, employé dans la fabrication du cristal, de carbonate monopotassique aussi pur que le livrent les fabriques anglaises, de

carbonate bisodique purifié et de carbonate de calcium à l'état de marbre blanc, finement pulvérisé et passé au tamis de soie. Ces matières, prises en proportions convenables, ont été mêlées intimement avec *dix* à *douze* pour cent de leur poids d'anhydride arsénieux, et ont été ensuite soumises, dans un creuset très-réfractaire, à l'action d'une chaleur capable de les amener à l'état de fusion assez avancée pour que le verre puisse être travaillé. L'addition de cette énorme dose d'anhydride arsénieux a été faite par le chef ouvrier de la verrerie, dans le but de déterminer plus facilement la *liquéfaction* de la masse. J'avoue mon incompétence pour apprécier le fondement de cette pratique; je n'y ai vu, du reste, d'autre inconvénient que celui de répandre dans l'air des torrents de matières vénéneuses, puisque je me suis assuré, par l'analyse, qu'il ne reste dans le verre produit aucune trace de l'arsenic employé.

En opérant avec les soins convenables, on a fait deux fontes sur des proportions assez considérables. A l'aide du verre obtenu, on a soufflé des ballons à long col, des matras, de petits flacons, des cylindres, etc., etc. Le ballon le plus spacieux qu'un excellent ouvrier soit parvenu à confectionner a mesuré environ quatre litres. La capacité des autres ballons a varié d'un à trois litres. Les parois de la sphère ont été tenues assez épaisses pour pouvoir résister à la traction que subit le verre, lors du retrait qu'éprouvent les azotates en se solidifiant après leur fusion.

Le verre avait un reflet jaunâtre; il était excessivement dur, peu élastique, et aussi dépouillé d'hygrométricité que le meilleur verre réfractaire de Bohême.

J'ai pris la peine de soumettre à l'analyse des fragments de deux ballons de fabrication différente; ces ballons s'étaient cassés après avoir servi aux expériences [1].

	I.	II.
Anhydride silicique	76,4	77,5
Oxyde de potassium	7,1	6,2
— de sodium	5,9	6,5
— de calcium	10,6	10,0
	100,0	100,0

[1] Dans les analyses, j'ai déterminé directement l'anhydride silicique et les oxydes de potassium et de calcium. L'oxyde de sodium a été déduit par *différence*. Le verre contenait également un peu d'alumine provenant de l'attaque des creusets, je ne l'ai point dosée; le chiffre du sodium en est donc augmenté d'autant.

2° *De l'appareil qui a servi à la transformation des chlorures en azotates.*

L'appareil se compose d'un des ballons dont je viens de parler, sur le goulot duquel j'ai fait user à l'émeri un flacon de même verre; le fond de ce flacon est enlevé, et par son ouverture étroite passe un tube recourbé, en verre inattaquable par les acides. La branche descendante de ce tube est munie d'une boule assez spacieuse.

Pour m'assurer si cet appareil conserve l'intégrité de son poids en présence des acides et des azotates en *fusion momentanée*, j'ai fait les essais suivants : Après avoir fait bouillir pendant un certain temps de l'eau régale dans le ballon, pour dissoudre toutes les substances métalliques qu'y amène le travail qu'on est obligé de faire au goulot du ballon, afin d'y adapter le flacon percé qui lui sert de bouchon, je l'ai lavé à l'eau, séché, rempli d'*air sec* [1], et fermé à l'aide d'un bouchon de verre présentant une légère rainure. Son refroidissement complet étant effectué, je l'ai pesé, suspendu à la balance à l'aide d'une suspension de platine, comme le montre la figure, j'ai pris comme contre-poids un ballon de même volume, de même verre, et je me suis servi de verre pour compenser la différence de poids.

Fig. 17.

J'ai introduit ensuite dans ce ballon *quatre cents* centimètres cubes d'acide azotique normal et pur, que j'y ai évaporé à une température de beaucoup au-dessous de son point d'ébullition, afin de faire durer plus longtemps le contact de l'acide azotique chaud avec le verre. Pendant ce temps, le col du ballon était engagé très-avant dans un cylindre de

[1] Dans toutes les pesées dont il est question dans ce travail les ballons ont été remplis d'*air sec*, soit que je les eusse pesés vides de matière, soit qu'ils continssent un chlorure ou un azotate. La différence entre le poids d'un ballon rempli d'air ordinaire ou d'air séché à l'acide sulfurique est comprise entre $0^{gr},005$ et $0^{gr},005$, suivant la capacité de la sphère. Lors des pesées des ballons, j'ai toujours eu soin de renouveler au moins une fois l'air après la constatation du poids, pour m'assurer si, pendant le long repos, l'air sec n'avait pas été remplacé par l'air ordinaire. L'observation m'a démontré que cette précaution est indispensable si l'on veut se mettre à l'abri de cette cause d'erreur.

verre inattaquable par les acides, pour empêcher, autant que possible, l'entrée dans le ballon des impuretés de l'air. Après l'évaporation, le fond du ballon contenait un *très-léger* anneau jaunâtre; j'y ai fait passer encore de l'air pur et sec, et son refroidissement étant opéré, je l'ai pesé une deuxième fois. Après sa pesée, je l'ai lavé à l'intérieur à l'eau acidulée par l'acide azotique, pour enlever le faible anneau, puis à l'eau pure, et après l'avoir séché et rempli d'air sec, je l'ai pesé une troisième fois.

Voici le poids qu'a présenté un ballon traité de cette manière :

	gram.
1. Poids constant du ballon rempli d'air sec	552,5715
2. — du ballon rempli d'air sec et contenant le résidu provenant de l'évaporation de l'acide azotique	552,5755
3. — du ballon précédent, le lendemain, l'air étant renouvelé .	552,5758
4. — du ballon rempli d'air sec, après avoir été lavé à l'intérieur par l'eau acidulée à l'acide azotique, afin d'enlever le résidu laissé par l'évaporation de l'acide, puis lavé à l'eau pure et séché.	552,5700
5. — du ballon précédent, le lendemain.	552,5705
6. — du ballon précédent, après y avoir renouvelé l'air sec . .	552,5705
Il résulte de ces opérations, que le résidu, laissé par quatre cents centimètres cubes d'acide azotique normal, a déterminé une augmentation du poids du ballon qui, au *maximum*, s'élève à .	0,0025
Et qu'après l'enlèvement de ce résidu, le ballon a perdu de son poids cette petite quantité	0,0010

Eu égard à la grande masse de chlorure alcalin que j'ai soumis à l'expérience, et au poids de l'azotate qui en provenait, je puis considérer le ballon comme ne changeant point de poids sous l'influence de l'acide azotique.

Pour me renseigner sur sa résistance à l'action des azotates alcalins en *fusion momentanée*, j'ai pris la peine de déterminer le poids du ballon, après que l'azotate y avait été fondu, et que j'eusse ensuite enlevé le sel à l'aide de l'eau pure.

Voici du reste le poids du ballon précédent, après avoir servi successivement à *deux transformations* du chlorure de potassium en azotate; l'une de ces transformations a été faite en collaboration avec M. Kekulé.

Première transformation.

	gram.	
1. Poids du ballon rempli d'air sec, avant la fusion de l'azotate.	552,5705	(Kekulé et Stas).
2. — — après la fusion de l'azotate.	552,5695	(Kekulé).
	552,5690	(Stas).

Deuxième transformation.

	gram.
1. Poids du ballon rempli d'air sec, avant la fusion de l'azotate.	552,56925
2. — — après la fusion de l'azotate.	552,56850
3. Poids du ballon précédent, le lendemain, l'air sec étant renouvelé	552,5690

On voit donc qu'on peut amener un azotate alcalin en *fusion momentanée* dans un verre très-réfractaire, sans altérer sensiblement le poids de l'appareil.

Il me restait un dernier élément d'appréciation à rechercher, c'était l'influence du poids du résidu provenant de l'évaporation de l'acide azotique, combinée avec la diminution de poids qu'éprouve le ballon par suite de la fusion de l'azotate. Dans ce but, j'ai introduit dans le ballon pesé un poids connu d'azotate de potassium pur, préalablement fondu dans le platine. J'ai versé sur cet azotate *trois* fois son poids d'acide azotique normal et pur, et après avoir amené le liquide à siccité, par le moyen que j'indiquerai plus loin à l'occasion des détails des opérations elles-mêmes, j'ai déterminé la fusion de l'azotate. J'ai pesé ensuite le ballon rempli d'air sec. J'ai repris une deuxième fois l'azotate par *quatre* fois son poids d'acide azotique pur, et, après avoir évaporé de nouveau le liquide à siccité, j'ai amené une deuxième fois l'azotate en fusion.

Pour être certain de ne pas perdre de l'azotate entraîné par la vapeur d'acide azotique, j'ai eu soin de condenser celle-ci et d'évaporer ensuite le tout dans la cornue de platine.

Ces opérations ont donné les résultats suivants :

	gram.
1. Poids moyen du ballon rempli d'air sec.	552,56875
2. — de l'azotate de potassium fondu dans le platine	87,02950
3. — total	439,59825

4. Poids du ballon rempli d'air sec, après l'évaporation des trois cents centimètres cubes d'acide azotique, et de la fusion de l'azotate de potassium	439,4005
5. — du ballon précédent, le lendemain	439,4010
6. — du ballon rempli d'air sec, après l'évaporation de quatre cents centimètres cubes d'acide azotique et la fusion du nitre	439,40175
7. — du ballon après avoir repris le nitre par de l'eau, et l'avoir lavé et rempli d'air sec	332,3660
8. — du ballon précédent, le lendemain	332,3665
Le résidu brun, provenant de l'évaporation de l'acide azotique condensé [1], pesait	0,00175
Ces essais démontrent que, par suite de l'évaporation de *sept cents* grammes d'acide azotique normal, le poids de l'azotate de potassium a augmenté de	0,0035
Et que, par le fait de deux fusions de 87gr,0295 de nitre, le poids du ballon a diminué de	0,0025

C'est donc *dans cette limite d'erreurs d'observation que doivent être interprétées les expériences concernant les transformations des chlorures alcalins en azotates.*

3° *De l'acide azotique employé dans la transformation.*

Je me suis procuré l'acide azotique convenable pour ces transformations, en soumettant à une distillation ménagée l'acide du commerce à 1,50 de densité, chauffé préalablement pour le dépouiller de tout le chlore qu'il renferme. Le produit, recueilli dans un ballon de verre inattaquable par les acides, était soumis à une rectification, en engageant le col de ce ballon très-avant dans un ballon de même verre, et en prenant la précaution de volatiliser le liquide sans le faire bouillir. L'expérience, répétée un grand nombre de fois, m'a démontré que ce moyen fournit un acide capable de se réduire en vapeur sans laisser de résidu pondérable. Quoique j'aie constamment pris ces précautions, je me suis néanmoins assuré, par un essai direct, de la pureté de l'acide employé. Dans ce but, j'ai placé dans la cucurbite d'une grande cornue de platine un triangle de même métal; sur ce triangle j'ai posé un

[1] A l'analyse spectrale, il m'a été impossible d'y découvrir la présence du potassium.

grand creuset de porcelaine très-fine de Berlin, rempli d'acide azotique dont je voulais essayer le degré de pureté. Après avoir couvert la cucurbite du chapiteau et avoir engagé le col de celui-ci aussi avant que possible dans le col d'un ballon de verre dur, j'ai chauffé circulairement les parois de la cornue afin de réduire à l'état de vapeur l'acide azotique contenu dans le creuset.

Dans chaque expérience, j'ai volatilisé de cette manière plusieurs centaines de grammes de cet acide, sans jamais pouvoir découvrir la moindre augmentation dans le poids du creuset.

4° Du moyen employé pour opérer la transformation des chlorures en azotates.

J'ai employé le même moyen pour opérer la transformation, en azotates, des trois chlorures sur lesquels ont porté mes investigations. Mais l'hygrométricité extrême du chlorure et de l'azotate de lithium m'a forcé de prendre des précautions spéciales pour la pesée de ces deux corps. Je serai donc obligé d'entrer dans des détails particuliers à ce sujet; je réserve ces détails pour la notice consacrée au chlorure de lithium. Je me bornerai donc ici à exposer comment je m'y suis pris pour peser les chlorures de potassium et de sodium, pour effectuer leur transformation en azotates, et enfin pour peser les azotates produits.

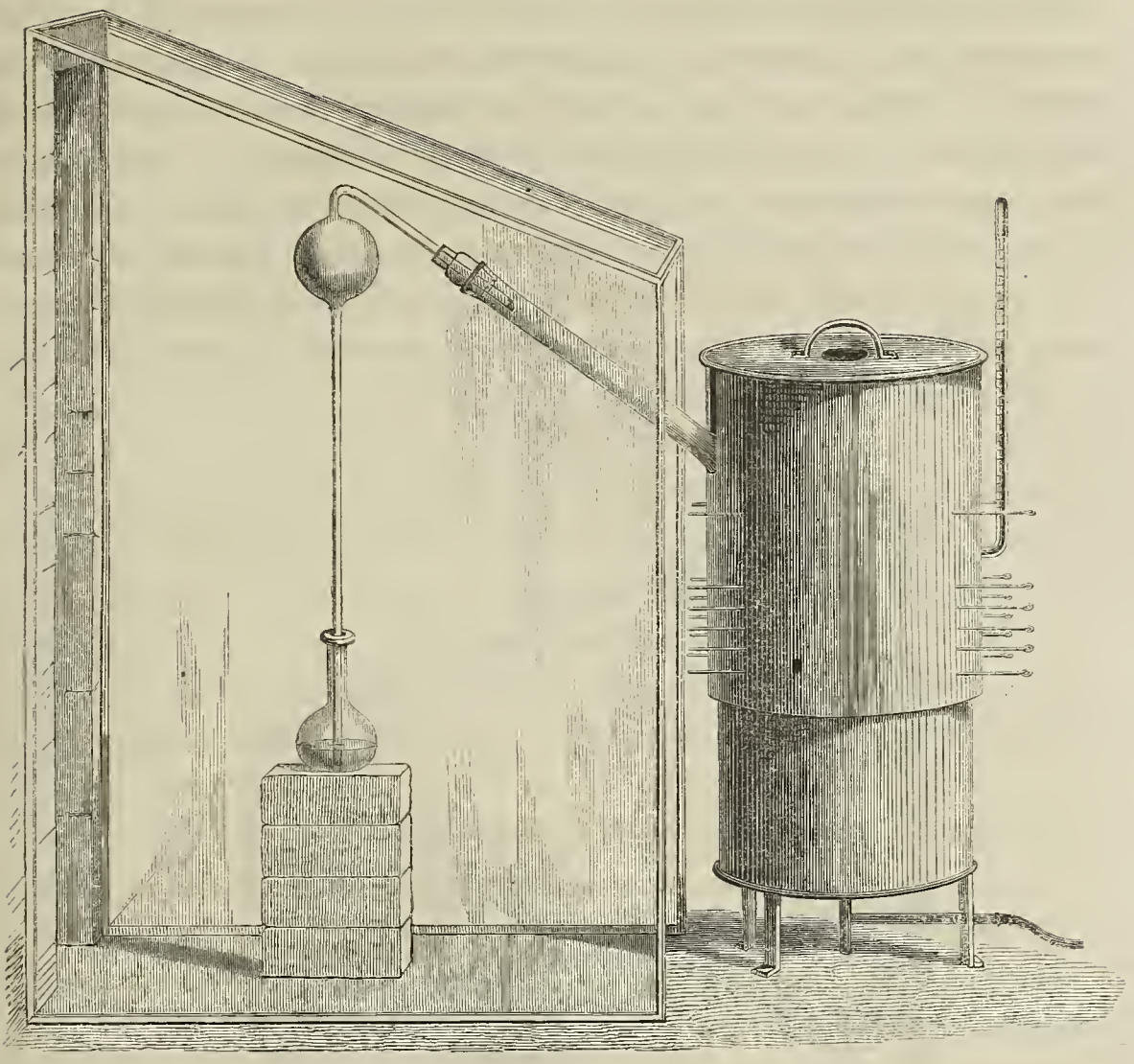
La pesée des chlorures de potassium et de sodium a été faite dans un grand tube en verre, fermé par un bout et bouché à l'autre bout par un bouchon usé à l'émeri. Les chlorures concassés en fragments de 2 à 5 grammes, avant d'être introduits dans le tube, avaient été chauffés dans un double creuset de platine, à une température voisine de celle à laquelle ils commencent à s'agglutiner, et, pendant qu'ils étaient encore très-chauds, ils ont été introduits à l'aide d'une main de platine dans le tube préalablement chauffé vers la même température. Le tube, fermé ensuite, a été abandonné au refroidissement sous une cloche renfermant de l'air séché à l'aide de la présence de l'acide sulfurique. Le poids du tube avec le chlorure étant déterminé, j'ai enlevé le bouchon, et ayant incliné convenablement le ballon

que j'avais également pesé plein d'air *sec*, j'ai fait pénétrer le tube dans son col aussi avant que possible, et j'ai laissé glisser le chlorure avec précaution pour ne pas en perdre une trace. Ayant de nouveau fermé le tube à l'aide de son bouchon, je l'ai remis sur la balance, et j'ai substitué, au chlorure sorti, des poids de platine de manière à rétablir l'équilibre. La somme de ces poids représente évidemment le poids du chlorure entré dans le ballon. Comme vérification, j'ai *renouvelé l'air sec du ballon*, en y faisant passer une dizaine de litres d'air sec et froid, et, après l'avoir fermé à l'aide d'un bouchon percé d'un petit trou, pour mettre l'atmosphère sèche qu'il renfermait en équilibre de pression avec l'air de la cage dans laquelle il flottait pendant la pesée, j'ai déterminé une deuxième fois son poids. Quoique le chlorure de sodium soit incontestablement hygrométrique, dans toutes les opérations, les poids obtenus par la pesée indirecte ont été identiques, dans la limite d'erreurs de l'observation, avec ceux constatés par la pesée directe. Les détails que j'exposerai plus bas le prouveront à toute évidence.

Dans le but de constater la quantité d'acide azotique *normal* nécessaire pour opérer la transformation complète d'un poids donné de chlorure, j'ai fait préalablement quelques essais sur une petite échelle. Il en résulte que si l'acide réagit lentement sur les chlorures, et à la plus basse température possible, l'élimination totale du chlore du chlorure de potassium a lieu en employant, pour un de sel haloïde, trois d'acide *normal*, pour un de chlorure de sodium, quatre d'acide, et enfin, pour un de chlorure de lithium, cinq et demi d'acide.

Pour exécuter la transformation, je versai la quantité convenable d'acide pur sur le chlorure contenu dans le ballon. Après avoir adapté au col le flacon qui lui sert de bouchon, et après avoir introduit dans le goulot le tube en verre dur recourbé, j'ai placé le ballon, incliné vers 45°, dans l'étuve à air chaud que j'ai figurée et décrite à propos de la synthèse de l'iodure d'argent. La branche descendante du tube recourbé s'engage dans une petite fiole de verre dur, contenant un volume d'eau pure un peu inférieur à celui de la capacité de la boule qui est soufflée vers le milieu de cette branche descendante du tube. L'appareil est placé dans une cage de verre, en communication avec une bonne cheminée d'appel, comme le montre la *fig.* 18.

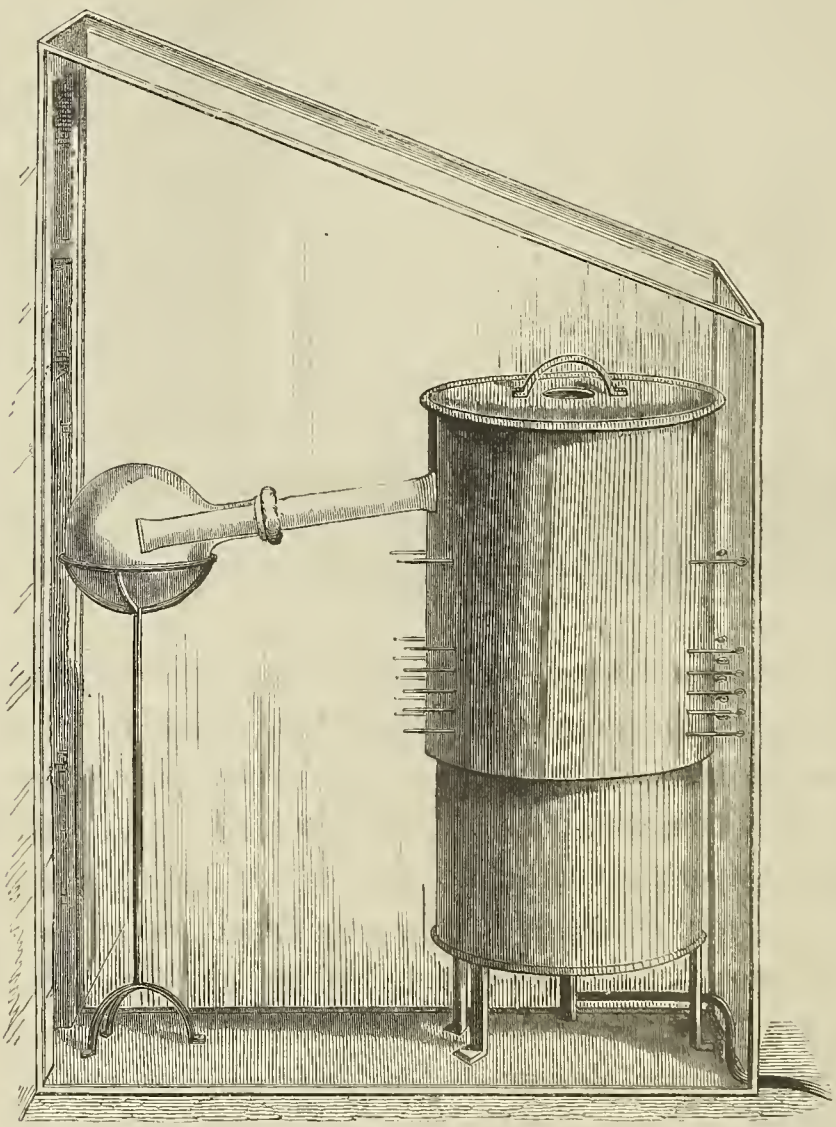
Fig. 18.



L'appareil étant bien disposé, j'élève lentement la température de l'étuve vers 40 à 50°; le chlorure, qui se dissout lentement dans l'acide azotique, se décompose vers ce degré en azotate et en bichlorure d'azotyle, qui se dégage en passant par l'eau contenue dans le petit ballon laveur. En prenant le soin de maintenir la température constante, tous les gaz qui prennent naissance se forment *à la surface du liquide même;* au lieu d'une effervescence, qui est toujours accompagnée de pétillement et d'entraînement de liquide par le gaz, il se produit de grosses bulles à la surface, bulles qui se défont sans projection ni entraînement de liquide. C'est pourquoi, lorsque l'opération est

conduite avec les précautions nécessaires, l'eau de lavage du bichlorure d'azotyle ne renferme aucune trace d'azotate alcalin entraîné. Lorsque les gaz cessent de se dégager à la température stationnaire, j'augmente successivement la chaleur et je porte à la fin le liquide *près* de son point d'ébullition; quand les gaz ont de nouveau cessé de se dégager et que, malgré l'élévation de température, le liquide dans le ballon ressemble à une matière fixe en fusion, j'enlève le flacon servant de bouchon, j'engage *très-avant* le col du ballon dans un cylindre ou matras *en verre inattaquable par les acides*, et j'incline le tout de manière à faire dévier le col tant soit peu *au-*

Fig. 19.



dessous de l'horizontale, afin que les liquides qui s'y condensent ne puissent retourner dans le ballon. Pour empêcher les matières en suspension dans l'air de pénétrer dans le cylindre et de là dans le col du ballon, j'applique une couche circulaire très-épaisse de ouate sur l'ouverture annulaire laissée entre le cylindre et le col qui y est engagé. Comme l'évaporation du liquide acide, et par conséquent la condensation des vapeurs acides se font avec une grande lenteur, la ouate n'est nullement attaquée, et l'air qui peut pénétrer dans l'appareil est forcé de se tamiser.

L'appareil étant disposé dans la cage de verre, close comme le montre la *fig.* 19, j'ai procédé à l'évaporation de tout le liquide acide. Dans ce but, j'ai élevé la température de l'étuve à un degré voisin, mais toujours au-dessous, de celui du point d'ébullition du liquide. Le temps nécessaire pour éliminer, de 50 à 80 grammes de chlorure alcalin, le chlore à l'état de bichlorure d'azotyle, et pour évaporer jusqu'à siccité la solution d'azotate alcalin qui en provient, a varié de six à neuf heures.

L'évaporation jusqu'à siccité de la solution d'un azotate alcalin dans l'acide azotique présente assez de difficultés, lorsqu'on veut empêcher complétement la perte de sel.

L'azotate en effet, à mesure qu'il se solidifie, présente la propriété de *grimper* le long de la surface du ballon et de pénétrer même dans le col, si on n'y prend garde. Je suis parvenu à empêcher ce phénomène, en ne chauffant que la partie inférieure du ballon, celle qui est mouillée par le liquide, et en abritant absolument contre le courant d'air chaud les parois libres du ballon. Pour cela, dans toutes mes expériences, j'ai fait reposer le fond du ballon dans l'ouverture d'une rondelle de tôle de fer, entourée d'un cylindre de tôle. Ce cylindre, portant une échancrure destinée à laisser passer le col du ballon, était placé au centre de l'étuve. Les produits de la combustion passaient donc par l'espace annulaire laissé entre le cylindre extérieur formant l'étuve et le cylindre intérieur, pour s'échapper dans l'air par l'ouverture pratiquée dans le couvercle mobile qui ferme l'étuve.

La dessiccation de l'azotate étant achevée, j'ai extrait de la cage de verre tout le système d'appareil, j'ai enlevé la couche de ouate qui entourait le col du ballon et le récipient, ensuite le récipient lui-même, dans lequel les vapeurs acides s'étaient condensées.

En soulevant légèrement le ballon, j'ai retiré le cylindre de tôle qui l'entourait, ainsi que la rondelle sur lequel il reposait; je l'ai placé sur les tringles de fer qui servaient à soutenir la rondelle avec le cylindre métallique, et j'ai élevé lentement la température de l'étuve pour amener l'azotate contenu dans le ballon à l'état de fusion. Pendant ce temps, je faisais passer un courant d'air sec et pur dans l'intérieur du ballon, afin d'éliminer les traces d'acide ou d'eau qui étaient restées dans le sel. Quand l'azotate fut en pleine fusion, j'éteignis *brusquement* le gaz, afin d'amener une solidification presque instantanée du sel. Ce *refroidissement brusque*, bien dangereux pour le ballon, est nécessaire pour produire une *espèce de trempe* de l'azotate. Il faut que ce sel, après la solidification, soit transparent, presque vitreux, pour rester adhérent au ballon. En se refroidissant lentement, il devient cristallin, se fendille, et, dans ce cas, il se détache souvent brusquement de la paroi du ballon, en déterminant la rupture du vase. J'ai perdu ainsi plusieurs expériences, avec du chlorure qui avait coûté de grandes peines à préparer, et dont la production m'a entraîné à des dépenses considérables. Ces accidents ont failli m'empêcher d'achever ces recherches. L'expérience m'a donc prouvé qu'entre les deux dangers, c'est le premier, le refroidissement brusque du ballon, qui est le moins à craindre.

La solidification opérée, j'ai continué de faire passer le courant d'air sec dans le ballon, jusqu'à son refroidissement complet; après l'avoir muni du flacon qui lui sert de bouchon, j'ai adapté à celui-ci un tube à chlorure de calcium pour empêcher l'accès de l'air humide, et j'ai procédé au lavage extérieur du ballon. La dessiccation du verre étant effectuée, à l'aide d'un linge fin, et le bouchon muni d'une rainure étant placé sur le flacon percé, j'ai suspendu le ballon au plateau de la balance, pour effectuer sa pesée comme je l'ai indiqué page 219.

Lorsque le poids constant du ballon eut été déterminé, pour m'assurer que tout le chlorure avait été transformé en azotate, j'ai repris le sel par une quantité d'acide azotique normal et pur, capable de le dissoudre à chaud. J'ai procédé de nouveau à l'évaporation de l'acide, à la dessiccation et à la fusion du sel avec toutes les précautions que je viens d'indiquer.

J'ai évaporé *à part*, dans la cage de verre close, l'eau de lavage du bichlo-

rure d'azotyle et l'acide provenant de la condensation des vapeurs émanées du ballon lors de la dessiccation de la solution d'azotate dans l'excès d'acide azotique. Cette évaporation a été faite dans de petites capsules de porcelaine fine, dont le poids avait été déterminé d'avance.

Dans la majeure partie des déterminations, les eaux de lavage et l'acide condensé n'ont laissé que des quantités réellement négligeables de matières fixes, et ces matières proviennent incontestablement des corpuscules flottant dans l'air de la cage, et qui, étant attaqués par les vapeurs acides, se précipitent dans les vases ouverts, dans lesquels l'évaporation s'accomplit. Je dis : dans des vases ouverts, parce qu'il est impossible d'exécuter ces évaporations dans des creusets de porcelaine vernis, enfermés dans une cornue de platine, à cause de la présence du chlore dans les liquides employés.

Les opérations, faites avec tous les soins que je viens d'indiquer, conduisent à des résultats d'une concordance aussi grande que celle à laquelle il est possible d'atteindre dans la synthèse ou dans l'analyse d'un corps. Pour démontrer la vérité de cette assertion, je vais énoncer toutes les données d'une détermination que j'ai exécutée avec la collaboration de mon ami et collègue M. Kekulé; elle concerne la transformation du chlorure de sodium en azotate.

Avant la transformation du chlorure en azotate.

		gram.
1.	Poids du ballon rempli d'air sec (Kekulé et Stas).	438,3590
2.	— du ballon, après avoir renouvelé l'air sec (Kekulé et Stas).	438,3585
3.	— de la fiole en verre dur destinée à contenir l'eau de lavage du bichlorure d'azotyle (Stas).	25,9355
4.	— du tube recourbé (Kekulé).	25,1100
5.	— du chlorure de sodium du chloroplatinate, pesé par soustraction dans un tube bouché (Stas).	32,4857
6.	— du chlorure de sodium, pesé dans le ballon rempli d'air sec renouvelé (Kekulé).	32,4840
7.	— du ballon rempli d'air sec avec l'azotate *incomplétement* fondu :	
	a. Pesé le lendemain (Kekulé)	485,6130
	b. — — (Stas)	485,6135

8. Poids du ballon rempli d'air sec avec l'azotate amené à l'état de fusion complète :

	gram.
a. Pesé le lendemain (Kekulé).	485,6140
b. — — (Stas).	485,61574
9. Poids du résidu laissé par l'évaporation des eaux de lavage du gaz bichlorure d'azotyle (Kekulé et Stas).	0,00025
10. — du résidu laissé par près de 100 centimètres cubes de liquide acide provenant de la dessiccation de l'azotate (Kekulé et Stas)	0,00025

Après la transformation du chlorure en azotate.

1. Poids de la fiole (n° 3 précédent) (Kekulé et Stas).	25,9555
2. — du tube recourbé (n° 4 précédent) (Kekulé et Stas) . .	25,1100
3. — du ballon, après avoir dissous l'azotate fondu et avoir lavé, desséché et rempli d'air sec le ballon :	
a. Après cinq heures de refroidissement (Kekulé et Stas). . .	458,5570
b. Poids du ballon, le lendemain.	458,5590
c. — — le surlendemain.	458,5585
d. — — le quatrième jour	458,5585
e. — — après avoir été chauffé près du rouge et après deux heures de refroidissement .	458,5870
f. Le même ballon rempli d'air sec, le lendemain	458,5580
g. — — — — le surlendemain	458,5585

De ces différentes données, il résulte que le poids de la fiole qui a servi à contenir l'eau de lavage du bichlorure d'azotyle, et le poids du tube destiné à laisser passer ce gaz, ont été conservés absolument intacts; que le ballon n'a diminué que de *un cinq cent millième de son poids*, quantité égale à l'incertitude qui existe sur le véritable poids d'un vase rempli d'air sec et pesé dans un air incomplétement séché et en communication avec le premier. On peut donc considérer le poids de l'azotate produit comme n'étant affecté d'aucune erreur bien sensible provenant de l'altération des vases dans lesquels il a pris naissance.

Il me reste maintenant à décrire les moyens auxquels j'ai eu recours pour préparer les chlorures et à fournir les données numériques des expériences; c'est ce que je vais faire dans les notices suivantes.

5° *Du chlorure de potassium employé dans les déterminations, et détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de potassium.*

J'ai employé du chlorure de potassium provenant de trois sources différentes. Je vais, aussi succinctement que possible, entrer dans des détails au sujet de ces divers composés.

A. *Chlorure de potassium du nitre.* — Le composé que j'ai employé était une partie de celui que j'ai préparé en 1858, au moyen de l'azotate de potassium purifié par M. Esselens à l'aide de *dix* cristallisations successives. Dans la notice sur la *Détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure de potassium*, j'ai donné la méthode suivie pour ramener l'azotate à l'état de chlorure; je n'y reviendrai pas. J'ai constaté que ce chlorure laisse entre cinq et six cents millièmes de son poids de silice, lorsqu'on le volatilise dans un milieu convenable.

$50^{gr},7165$ de ce chlorure ont été transformés en azotate; ils ont produit $68^{gr},7938$ de ce sel, d'où

$$KCl : KAzO^3 : : 100,000 : 135,645$$

B. *Chlorure de potassium du chlorate.* — A l'aide des moyens que j'ai fait connaître dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, j'ai éliminé toutes les matières étrangères que le chlorate de potassium du commerce renferme toujours, et je me suis procuré une très-grande quantité de ce sel, aussi pur qu'il est possible de l'obtenir ainsi. J'ai décomposé une partie de ce chlorate dans une grande cornue de platine purifié, en prenant toutes les précautions imaginables pour empêcher la production du chlore. L'examen minutieux auquel j'ai soumis le chlorure produit m'a donné la certitude qu'il contenait des traces de platine et de la silice. Ce chlorure a été soumis à une nouvelle fusion avec une certaine quantité de chlorure d'ammonium. J'ai repris la masse refroidie par de

l'eau froide; après vingt-quatre heures de repos dans un vase de platine, j'ai évaporé la solution, absolument limpide et neutre au tournesol, dans une grande cornue de platine, et j'ai fondu de nouveau le chlorure dans un double creuset de même métal. Il s'est transformé en un liquide, où il m'a été impossible de découvrir le moindre de ces points brillants que l'on remarque lorsque le chlorure renferme en suspension des traces d'anhydride silicique ou d'oxyde aluminique.

La masse coulée s'est transformée, après le refroidissement, en un verre absolument incolore, limpide. Par la voie de la volatilisation, j'ai trouvé que ce chlorure laisse entre *quatre* et *cinq cents millièmes* de silice, mêlée de silicate de potassium.

$80^{gr},2610$ de ce chlorure ont été transformés en azotate; ils ont produit $108^{gr},8665$ de ce sel, d'où

$$KCl : KAzO^5 :: 100,000 : 155,638.$$

Dans l'espoir d'éliminer du chlorate la silice qui s'accumule dans le chlorure, j'ai soumis le sel au traitement suivant :

500 grammes environ du sel qui a fourni le chlorure précédent, après avoir été bien séchés, ont été maintenus en fusion, pendant presque toute une journée, dans la grande cornue de platine; le liquide, absolument limpide d'abord, s'est manifestement troublé au bout de ce temps; il a même pris une très-légère teinte jaunâtre, probablement par la formation de quelques traces de chloroplatinate de potassium. J'ai coulé ensuite le sel dans un grand vase de platine, et, après avoir concassé la masse refroidie, je l'ai traitée par une quantité d'eau froide insuffisante pour la dissoudre. Toutes les dissolutions, parfaitement limpides, ont été évaporées dans une chaudière de platine de cinq litres de capacité, purifiée au rouge à l'aide du chlorure d'ammonium. Le très-faible résidu laissé par l'action de l'eau consistait en silice, alumine très-dure et en *chloroplatinate de potassium*. Le chlorate de potassium, qui était mêlé d'une petite quantité de chlorure, a été décomposé lentement dans une grande cornue de platine. Le chlorure produit a été concassé et mêlé de chlorure d'ammonium pur; le mélange a été fondu dans

un double creuset de platine, et s'est transformé en un liquide dans lequel il a été impossible de découvrir la moindre trace de points brillants. Craignant néanmoins la présence du platine divisé dans le chlorure solidifié, je l'ai repris par de l'eau pure, après l'avoir concassé, et j'ai évaporé à siccité, dans la grande cornue de platine, la solution qui avait reposé vingt-quatre heures. Le résidu a été fondu de nouveau dans un double creuset de platine; le chlorure produit était absolument incolore, limpide et neutre.

La voie de la volatilisation m'a fait découvrir que ce chlorure, sur lequel j'ai fait réellement le *labor improbus*, laisse la même quantité de silice que le composé provenant directement de la solution du chlorure obtenu par la calcination du même chlorate. *Je dois donc avouer que j'ai été impuissant pour préparer, à l'aide du chlorate de potassium, un chlorure que je puisse considérer comme absolument pur.*

$72^{gr},1022$ de ce chlorure ont fourni $99^{gr},8050$ d'azotate de potassium, d'où

$$KCh : KAzO^5 :: 100,000. : 135,647.$$

c. *Chlorure de potassium du chloroplatinate de potassium.* — J'ai préparé une grande quantité de chlorure à l'aide du chloroplatinate de potassium; j'avais cru pouvoir combiner ces recherches avec la détermination simultanée du poids atomique du platine. J'ai été déçu dans mon attente, et les explications dans lesquelles je vais entrer feront connaître le motif de l'insuccès, en ce qui concerne le poids atomique du platine.

Comme il me fallait du platine pur pour le but que je m'étais primitivement proposé, c'est de cette préparation que je me suis occupé d'abord. Voici les moyens auxquels on a eu recours : le fond d'une grande chaudière de platine fabriquée vers 1836 à 1837, et qui était hors de service [1], a été découpé. A l'aide de cisailles, on a séparé toutes les parties sur lesquelles il y avait des soudures renfermant de l'or. Deux kilogrammes et demi de cette tôle de

[1] Cette chaudière avait servi pendant ving-cinq années à la concentration de l'acide sulfurique. Toutes les parties qui avaient eu le contact de l'acide sulfurique bouillant présentaient une cristallisation analogue à celle qu'offre le fer-blanc décapé, et qui est connu dans le commerce sous le nom de *moiré métallique*.

platine furent découpés en lames étroites, et ces lames furent tournées en spirales, afin qu'elles offrissent plus de surfaces à l'attaque de l'eau régale. On a introduit ces spirales dans un ballon de six litres de capacité, contenant un litre et demi d'acide azotique pur et normal. Au ballon était adapté un bouchon de verre percé de deux trous; par l'une des ouvertures passait un tube qui amenait un courant d'acide chlorhydrique gazeux, et dans l'autre trou s'engageait un tube recourbé, destiné à livrer passage aux vapeurs chlorazotiques. Dans la crainte d'accident, ce ballon reposait dans une très-grande capsule de porcelaine contenant de l'eau. La capsule elle-même était posée sur un fourneau à gaz. On a condensé, à la *température ordinaire*, autant d'acide chlorhydrique que l'acide azotique a pu en dissoudre. Pendant que la condensation s'effectuait, le platine était déjà attaqué; on a élevé ensuite lentement la température du mélange, en se réglant à cet égard sur la décomposition de l'eau régale et l'attaque du platine qui, du reste, se fait assez lentement. A la fin, on a maintenu la température à 100° aussi longtemps que la dissolution du platine s'opérait. A l'aide d'un siphon, on a décanté toute la solution de chlorure acide; comme tout le métal n'avait pas été dissous, on a remplacé la solution par de l'acide azotique pur, dans lequel on a condensé de nouveau de l'acide chlorhydrique. Lorsque tout le platine eut été transformé en chlorure, les solutions, introduites dans des capsules de porcelaine, furent évaporées jusqu'à consistance sirupeuse. Le chlorure *brunâtre* a été repris par environ *cinq* à *six* fois son poids d'eau, et la solution, répartie en *trois* portions, a été versée dans des flacons bouchés à l'émeri. Chacun de ces flacons, portés dans une chambre obscure, a reçu petit à petit une quantité suffisante d'hydrate de calcium pur et délayé d'eau, non-seulement pour saturer l'excès d'acide chlorhydrique, mais encore pour précipiter tous les métaux étrangers existant dans le platine dissous, tels que l'iridium, le fer, etc. J'ai fait secouer vivement le mélange pendant un quart d'heure et j'ai filtré ensuite la solution, qui était devenue *alcaline* et *jaune*, de brunâtre qu'elle était auparavant. Il est resté sur le filtre un précipité brunâtre très-volumineux, contenant beaucoup d'iridium, de fer et de calcium.

Dans la solution filtrée j'ai ajouté une nouvelle quantité d'hydrate de calcium délayé dans de l'eau, et j'ai fait secouer de nouveau les liquides.

L'addition de cette seconde portion d'hydrate de calcium n'a plus produit le précipité brunâtre, volumineux, qu'il avait déterminé d'abord dans la solution de platine. J'ai soumis le liquide à une deuxième filtration. L'emploi de l'hydrate de calcium pour éliminer, *en l'absence de la lumière*, l'iridium du bichlorure de platine, iridium qu'on trouve toujours dans le métal du commerce, a été conseillé pour la première fois par feu Döbereiner.

Après avoir acidulé par l'acide chlorhydrique la solution de platine filtrée, je l'ai versée petit à petit dans une solution saturée de chlorure de potassium privé de métaux étrangers, tels que le fer et le manganèse. Le chloroplatinate a été lavé par une solution de chlorure de potassium, jusqu'à ce qu'on ne pût, à l'aide de l'analyse spectrale, découvrir le calcium dans les eaux de lavage.

Le sel desséché a été mêlé à deux fois son poids d'un mélange à parties égales de carbonate de sodium et de carbonate de potassium purs, et soumis ainsi à la fusion dans un grand vase de platine, *à la température la plus basse possible*. J'ai lessivé la masse par de l'eau pure, puis j'ai fait digérer le résidu à chaud avec de l'acide chlorhydrique dilué, aussi longtemps que cet acide a pris du sodium et du potassium. Enfin, j'ai dissous le platine dans de l'eau régale assez étendue pour que l'attaque du métal n'eût lieu que vers 100°. L'eau régale diluée a dissous la presque totalité de la masse métallique, preuve que l'hydrate de calcium avait bien éliminé à peu près tout l'iridium existant dans le platine primitif; j'ai voulu savoir si la poudre noire très-fine, qui résistait à l'action de l'eau régale étendue, était composée uniquement d'oxyde d'iridium, ou bien si elle renfermait encore du platine : l'ayant traitée par de l'eau régale plus concentrée, j'ai fini par dissoudre à peu près le tout; il n'est pas resté un millième de la masse métallique. La solution ainsi produite renfermait incontestablement de l'iridium, mais n'en contenait guère plus que la quantité que l'on rencontre dans le bichlorure de platine fait avec le métal que le commerce fournit.

Quoiqu'il y eût toute probabilité que la solution du bichlorure de platine, obtenue à l'aide de l'eau régale diluée, ne renfermait point d'iridium ni d'autres métaux, après l'avoir convenablement concentrée pour éliminer l'excès d'acide, je l'ai néanmoins versée dans une solution saturée de chlorure de

potassium privé de fer, etc., et j'ai fondu de nouveau le chloroplatinate de potassium avec deux fois son poids du mélange très-fusible de parties égales de carbonate de potassium et de carbonate de sodium. Le platine qui en est provenu, dépouillé d'abord complétement des sels alcalins par l'eau et par l'acide chlorhydrique chaud, s'est dissous *en entier* dans l'eau régale très-diluée. Ainsi, après l'action de l'hydrate de calcium, *dans l'obscurité,* un seul traitement du chloroplatinate a suffi pour éliminer les métaux étrangers. M. Bunsen a dû recourir à *cinq* traitements successifs du chloroplatinate, en se passant de l'action préalable de l'hydrate de calcium; en 1858, j'ai dû en instituer trois en me servant de l'hydrate de potassium, et en y sacrifiant un très-grand creuset de platine.

C'est à l'aide de la solution de platine ainsi purifié que j'ai préparé le chloroplatinate de potassium destiné à l'extraction du chlorure de potassium. — A cet effet, j'ai évaporé la solution, jusqu'à siccité, dans un ballon inattaquable par les acides, et j'ai dissous ensuite le résidu brunâtre dans dix fois son poids d'eau. J'ai versé à froid, et sous l'action d'une agitation continuelle, cette solution, qui était d'un *beau jaune foncé,* dans un excès de solution de chlorure de potassium provenant du chlorate, maintenu longtemps en fusion pour le dépouiller de la silice, avant d'être décomposé, comme je l'ai exposé du reste plus haut. J'ai lavé ensuite à l'eau froide le chloroplatinate, d'un beau jaune pur, jusqu'à ce que l'eau de lavage, convenablement évaporée et refroidie, ne précipitât plus par une solution concentrée de bichlorure de platine.

Après le lavage, la masse du sel a été introduite dans une grande chaudière de platine, servant à la concentration de l'acide sulfurique. J'ai fait bouillir doucement pendant une heure le chloroplatinate avec cinq à six litres d'eau, afin d'enlever autant que possible tous les composés étrangers, plus solubles, qu'il pouvait contenir. La solution, d'un jaune doré, a été décantée et remplacée par un volume égal d'eau pure, que j'ai fait bouillir encore pendant une heure. Au bout de ce temps, la nouvelle solution a été encore décantée et *écartée.*

J'ai introduit alors successivement dans la chaudière des quantités d'eau pure telles, que la première quantité devait dissoudre à l'ébullition environ

le tiers du chloroplatinate existant dans le vase, et, la deuxième, la moitié de ce qui en restait. Ces solutions saturées ont été abandonnées séparément au refroidissement, dans de grandes capsules de porcelaine placées dans de l'eau froide renouvelée continuellement, afin d'amener la précipitation du sel sous forme d'une poudre cristalline impalpable. *Toutes les eaux de cristallisation ont été écartées complétement.*

J'ai recueilli et séché *à part :* 1° le sel provenant de la solution du *premier tiers* du chloroplatinate lavé à l'eau bouillante; 2° le sel provenant de la solution de la moitié environ de la masse restante; 3° le sel qui était resté indissous au fond de la chaudière, et qui était devenu cristallin sous l'influence de l'eau bouillante.

Les n^os^ 1 et 2, constituant les sels qui avaient cristallisé par solution, présentaient la même couleur jaune. Cette couleur était sensiblement plus foncée que celle du sel n° 3, qui n'avait pas été amené à l'état de solution. Dans le but de faire servir à la détermination du poids atomique du platine l'extraction du chlorure de potassium de ces chloroplatinates de potassium, qui devaient être aussi purs qu'il est possible de les obtenir, j'ai pris les dispositions suivantes.

Une partie de ces trois quantités de chloroplatinate a été chauffée séparément vers 200° dans un dessiccateur de Liebig, plongé dans un bain de chlorure de zinc, en même temps qu'un courant d'air pur le traversait. Le chloroplatinate, après cette dessiccation énergique, a été introduit tout chaud dans une très-grande nacelle de platine pesée; j'ai glissé cette nacelle dans l'appareil destiné à peser dans le vide, que je décrirai plus loin, à l'occasion de la pesée du chlorure de lithium. Après avoir déterminé le poids du sel, j'ai engagé la nacelle dans un large tube de verre réfractaire, contenant une feuille de platine roulée sur elle-même sous forme de cylindre. Cette feuille était destinée à empêcher le contact du vase de platine avec le verre du tube. Le système, placé dans une gaîne de tôle remplie de magnésie, a été mis ensuite en communication avec un appareil à dégagement d'hydrogène, dépouillé d'oxygène par son passage sur la tournure de cuivre chauffée au rouge, et parfaitement séché ensuite. Lorsque le courant d'hydrogène eut passé pendant un quart d'heure environ, je chauffai la gaîne à une température con-

venable pour opérer la réduction du chloroplatinate; cette réduction commence vers 180°, et on peut la finir complétement sans atteindre 300°. Quels qu'aient été les soins que j'ai pris pour dessécher *préalablement* ces trois échantillons de chloroplatinate et l'hydrogène, j'ai vu se condenser dans le tube une certaine quantité d'acide chlorhydrique liquide, preuve que le sel à l'état cristallisé et celui qui, précipité d'une solution assez concentrée, est maintenu en suspension dans l'eau bouillante, retiennent une certaine quantité d'eau; il en est de même du bromate d'argent : même en le desséchant avec les plus grands soins on ne peut, sans le fondre, en éliminer les dernières traces d'eau. Berzélius a déjà constaté la présence de l'eau dans les chlorosels alcalins des métaux de la famille platinique.

Les longs préparatifs exécutés dans le but de déterminer le poids atomique du platine, en profitant de la préparation du chlorure de potassium, ont donc été faits en pure perte [1]. En effet, le platine iridifère pouvait tout aussi bien me fournir du chlorure de potassium pur que le métal que j'ai préparé avec tant de soins et de peines.

L'impossibilité de faire servir ce chloroplatinate à la détermination du poids atomique du platine étant bien établie, j'ai réduit chacune des trois parties de ce sel de la manière suivante : après avoir placé la cucurbite de la grande cornue de platine dans un bain de magnésie, j'y ai descendu une feuille de platine percée, au centre, d'une ouverture; par cette ouverture passait un tube en verre réfractaire, dont les bords étaient évasés en forme d'entonnoir. Autour du tube j'avais enroulé en spirale une bande de platine liée à l'aide de fils de ce métal. Le tube étant tenu bien verticalement, j'ai rempli aux deux tiers la cucurbite de chloroplatinate de potassium, qui, de cette manière, n'était en contact qu'avec du platine pur, puisque le verre en était entièrement enveloppé : j'ai couvert la cucurbite d'une capsule de porcelaine dure et trouée, et j'ai fait passer ensuite, par le tube, de l'hydrogène *pur* et *sec;* en même temps, j'ai chauffé le bain de magnésie jusqu'au moment où j'ai vu apparaître l'acide chlorhydrique. Ce point atteint, j'ai fait

[1] D'après M. Bunsen, on obtient du chloroplatinate absolument dépouillé d'eau, lorsqu'on le produit dans une solution très-étendue, et qu'on s'abstient de le faire cristalliser. J'ai connu ce fait trop tard pour pouvoir le mettre à profit dans mes recherches.

tous mes efforts pour maintenir la température constante et produire la réduction du chlorure de platine, sans fritter le chlorure de potassium, qui, sans cela, est sujet à retenir du chloroplatinate non décomposé. Lorsque l'hydrogène se fut dégagé pendant une vingtaine de minutes sans développer de l'acide chlorhydrique entre 200 et 250°, j'élevai la température entre 300 et 350°. Dans aucune des trois réductions que j'ai exécutées, je n'ai vu apparaître la moindre trace d'acide chlorhydrique lors de la deuxième élévation de température.

Après le refroidissement du tout, j'ai épuisé le résidu par le moins d'eau pure possible, et j'ai filtré la solution au travers de la mousse de platine pure, assez fortement calcinée et tassée. Le liquide filtré était tout à fait neutre; il a été abandonné pendant vingt-quatre heures au repos, puis évaporé dans la cornue de platine, à laquelle j'ai adapté un récipient, pour empêcher autant que possible l'entrée des matières qui voltigent dans l'air. Le chlorure séché a été fondu dans un double creuset de platine; il s'est transformé en un liquide dans lequel il m'a été impossible de découvrir le moindre point brillant; il n'y avait donc aucun corps étranger en suspension.

L'essai que j'ai fait des chlorures ainsi produits m'a démontré que les chlorures extraits du chloroplatinate cristallisé par dissolution contenaient deux cents millièmes de leur poids de silice, et que le chlorure, provenant du chloroplatinate qui n'a pas été dissous, renfermait cinq cents millièmes de son poids de silice.

J'ai déterminé le rapport proportionnel entre chacun de ces trois échantillons de chlorure et l'azotate qui leur correspond, et je suis arrivé au résultat suivant :

$50^{gr},2175$ de chlorure, provenant du traitement du *premier tiers* du chloroplatinate de potassium, ont fourni $68^{gr},1200$ d'azotate fondu, d'où

$$KCh : KAzO^5 : : 100,000 : 135,649.$$

$48^{gr},9274$ de chlorure provenant du traitement du *deuxième tiers* du chloroplatinate de potassium ont fourni $63^{gr},3675$ d'azotate fondu, d'où

$$KCh : KAzO^5 : : 100,000 : 135,645.$$

$69^{gr},8836$ de chlorure, provenant du traitement du *dernier tiers* de chloroplatinate, celui qui n'a pas été dissous par l'eau, ont fourni $94^{gr},7900$ d'azotate fondu, d'où

$$KCh : KAzO^5 :: 100,000 : 135,640.$$

Il me restait une certaine quantité de chlorure de potassium que j'avais également extrait, en 1858, du chloroplatinate, pour le faire servir à la détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure alcalin. J'en ai converti une partie en azotate; voici le résultat auquel je suis arrivé :

$14^{gr},2578$ de ce chlorure ont fourni $19^{gr},3415$ d'azotate fondu, d'où

$$KCh : KAzO^5 :: 100,000 : 135,655.$$

Il me reste maintenant à faire connaître les moyens auxquels j'ai eu recours pour m'assurer du degré de pureté des chlorures que je viens d'indiquer.

6° *Examen des chlorures de potassium employés dans les déterminations.*

J'ai employé l'analyse spectrale pour rechercher la nature des matières étrangères. Dans ce but, j'ai volatilisé, dans la flamme du gaz et dans une forte décharge de l'appareil de Rhumkorff, le chlorure que je voulais essayer. Les résultats ont été les suivants :

1. Le chlorure provenant du nitre cristallisé *dix* fois a produit la raie sodique, avec une intensité relativement grande, pendant à peu près le premier quart du temps qui a été nécessaire pour opérer la volatilisation intégrale du gros globule soumis à l'essai. Je n'ai aperçu aucune autre raie, même après avoir mouillé la spire de platine avec de l'acide chlorhydrique.

Dans une décharge électrique, j'ai observé les mêmes résultats, avec cette différence toutefois, que la raie sodique a conservé la même intensité pendant tout le temps.

Ayant été frappé de l'intensité de la raie sodique, j'ai voulu m'assurer si ce chlorure renfermait une quantité de sodium susceptible d'être dosée. A

cet effet, j'ai dissous *quatre* grammes de ce composé dans le plus petit volume d'eau chaude possible, et j'ai ajouté à la solution *dix* grammes de bichlorure de platine pur et dissous. Après la précipitation du chloroplatinate, j'ai évaporé au bain marie la masse jusqu'à consistance pâteuse, et j'ai repris le résidu par de l'alcool à 0,83. Lorsque l'alcool eut dissous le bichlorure de platine en excès et le chloroplatinate de sodium qui pouvaient y exister, j'ajoutai au liquide un volume d'éther anhydre égal au cinquième du volume de l'alcool employé, pour précipiter les traces de chloroplatinate de potassium dissous à la faveur du bichlorure de platine. Après six heures de repos à l'abri de la lumière, j'ai évaporé jusqu'à siccité la solution alcoolique, ainsi que l'alcool éthéré dont je m'étais servi pour laver le chloroplatinate de potassium. Tout le résidu de l'évaporation a été introduit dans une nacelle de platine pur. Après avoir convenablement séché le tout, j'ai introduit la nacelle dans un tube de verre dur contenant une feuille de platine, et j'ai réduit le chlorure de platine à l'aide de l'hydrogène. Après le refroidissement, j'ai pesé la nacelle, et j'ai repris ensuite le platine par de l'eau absolument pure. L'eau, après un repos convenable, a été évaporée dans une *très*-petite capsule de platine dont le poids avait été déterminé, à *un centième de milligramme près*, à l'aide de la balance d'essai ramenée à son maximum de sensibilité. Après l'évaporation totale du liquide, l'œil ne pouvait apercevoir aucun résidu dans le vase. L'augmentation du poids de cette capsule a été si faible, qu'en l'évaluant entre un vingtième et un trentième de milligramme, je suis certain d'en exagérer le poids. Comme contrôle, j'ai pesé la nacelle de platine après le lavage à l'eau, et je lui ai trouvé son poids primitif.

L'intensité de la raie sodique dans le chlorure de potassium, jointe à sa persistance, peut donc induire en erreur sur le poids du sodium qui y existe.

2. Le chlorure de potassium provenant de la décomposition du chlorate de ce métal, préparé avec les soins que j'ai indiqués, a présenté, quant à la raie sodique, la même intensité et la même persistance que celles offertes par le chlorure obtenu à l'aide du nitre pur.

M. Bunsen avait déjà remarqué que, par la voie de la cristallisation du

chlorate dans l'eau, il est impossible de séparer le potassium du sodium, au point de ne plus découvrir ce dernier métal par l'analyse spectrale.

J'ajouterai, d'après mon expérience personnelle, que toute solution qui a bouilli quelque temps en contact avec l'air, ou qui a été évaporée en contact avec l'atmosphère, donne des *signes certains et persistants* de l'existence du sodium, lors même que les éléments dont on s'est servi pour préparer cette solution n'en indiquaient que des *traces fugitives* à l'analyse spectrale.

Tous les chlorures de potassium qui ont servi aux déterminations consignées dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, et auxquels j'ai consacré des soins infinis, essayés au spectroscope, ont donné la raie sodique d'une manière plus ou moins intense et persistante. A cette époque déjà, je me suis assuré que le sodium, s'il pouvait y exister, était en quantité inférieure à celle qu'on peut y découvrir et en séparer à l'aide du bichlorure de platine.

3. *Le chlorure du chloroplatinate de potassium* a présenté la raie sodique, mais avec moins de persistance que celui préparé à l'aide du nitrate et du chlorate de potassium. Le chloroplatinate qui a fourni le chlorure ne donnait pas de raie sodique plus intense que celle qu'on observe dans l'air d'un laboratoire. C'est donc pendant les opérations nécessaires à l'élimination du platine que les traces de sodium y ont été apportées évidemment par l'air, car le chlorure n'a été en contact qu'avec du platine et de l'eau condensée à l'aide d'un tube de platine.

Volatilisé dans une forte décharge de l'appareil de Rhumkorff, ce chlorure n'a produit d'autres raies que celles qui caractérisent le potassium et le sodium.

Pour déterminer la quantité des matières fixes dans les chlorures, j'ai eu recours à la volatilisation d'un poids donné de ces corps. J'ai effectué cette volatilisation dans une nacelle de platine *pur*. Pour peser la nacelle, j'avais amené la balance d'essai à son maximum de sensibilité, qui est le centième de milligramme pour la charge qu'elle devait supporter.

Voici comment j'ai exécuté cette opération : j'ai pesé $10^{gr},000$ de chlorure dans la nacelle, et je l'ai glissée ensuite dans un tube de porcelaine fort long et contenant une feuille de platine roulée sous forme de cylindre. Le tube

traversait un fourneau rond, muni de son laboratoire, de son dôme, et surmonté d'une cheminée d'un mètre et demi de hauteur; il était chauffé avec un mélange de petit coke et de charbon de bois. J'ai fait passer sur le chlorure, ainsi porté au blanc, un courant lent d'azote pur et sec. A la température de la fusion de la fonte, il ne faut guère qu'une demi-heure à trois quarts d'heure de courant d'azote pour réduire les $10^{gr},000$ de chlorure de potassium à l'état de vapeur. J'ai retiré alors la nacelle et je l'ai chauffée au blanc en présence de l'air, pour être certain qu'elle ne contenait plus la moindre trace de matières volatilisables à cette température. Après le refroidissement complet, je l'ai pesée et j'ai trouvé ainsi :

1. Que $10^{gr},000$ de chlorure de potassium du nitre laissent de $0^{gr},00056$ à $0^{gr},00060$ de silice mêlée de silicate de potassium, soit : cinq à six cents millièmes du poids;

2. Que $10^{gr},000$ de chlorure de potassium du chlorate laissent de $0^{gr},00045$ à $0^{gr},00050$ de silice mêlée de silicate de potassium, soit : quatre à cinq cents millièmes du poids;

3. Que $10^{gr},000$ de chlorure de potassium du chloroplatinate dissous dans l'eau et cristallisé laissent de $0^{gr},00020$ à $0^{gr},00025$ de silice, soit : deux à deux et demi cents millièmes;

4. Que $10^{gr},000$ de chlorure de potassium du chloroplatinate *non* dissous par l'eau laissent $0^{gr},00048$ de silice, soit : cinq cents millièmes du poids.

Ces essais, faits avec tous les soins que j'y puis apporter, prouvent l'impossibilité absolue dans laquelle je me suis trouvé de produire des chlorures de potassium *purs*.

L'existence de cet anhydride silicique a pour effet de diminuer la quantité d'azotate produit par une unité de poids de chlorure. Les résultats obtenus doivent donc être, de ce chef, affectés d'*une cause d'erreur en moins*.

RAPPORT PROPORTIONNEL ENTRE LE CHLORURE ET L'AZOTATE DE POTASSIUM.

Nos D'ORDRE.	POIDS du chlorure dans l'air.	POIDS de l'azotate dans l'air.	100,000 de chlorure produisent azotate :
	gram.	gram.	
I	50,7165	68,7938	135,643
II	80,2610	108,8665	135,638
III	72,1022	99,8050	135,647
IV	50,2175	68,1200	135,649
V	48,9274	63,3675	135,645
VI	69,8836	94,7900	135,640
VII	14,2578	19,3415	135,655
		Moyenne.	135,6453
		Réduit au vide	135,6423

7° *Du chlorure de sodium employé dans les déterminations, et détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de sodium.*

J'ai fait cinq déterminations du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de sodium ; dans ce but j'ai employé du chlorure préparé par deux voies distinctes :

A. *Du chlorure de sodium préparé en saturant, par de l'acide chlorhydrique, du carbonate bisodique pur.* — Pour me procurer le carbonate bisodique pur, j'ai fait lessiver, à l'aide de l'eau distillée, *trois* kilogrammes de carbonate monosodique réduit en poudre fine, jusqu'à ce que les eaux de lavage, neutralisées par l'acide azotique, ne troublassent plus les solutions bouillantes des sels d'argent et de baryum. Le résidu a été séché et calciné ensuite légèrement dans un vase de platine. Le carbonate bisodique produit a été dissous dans de l'eau bouillante, en prenant la précaution de produire une liqueur saturée. La solution filtrée a été refroidie rapidement et sous

l'influence d'une agitation continuelle, afin d'obtenir une cristallisation sous forme d'aiguilles fines. Pour éliminer les eaux-mères, la bouillie cristalline a été introduite dans un appareil à déplacement, en communication avec un réservoir duquel on pouvait, à l'aide de quelques coups de pompe, extraire une partie de l'air. Le sel, après avoir été à deux reprises arrosé d'eau distillée, pour déplacer l'eau-mère restante, a été soumis à *trois* cristallisations dans de l'eau pure; à la deuxième cristallisation, la présence du fer n'y était plus reconnaissable : en effet, tant qu'il y existe des traces de ce métal, sa solution se teinte très-légèrement en vert sous l'influence du sulfhydrate de sodium incolore.

Le carbonate dissous a été transformé en chlorure par un courant de gaz acide chlorhydrique pur. La solution de sel marin produite, additionnée de tant soit peu de chlorure d'ammonium pur, a été évaporée jusqu'à siccité dans une grande cornue de platine, et le résidu, tout à fait blanc, a été chauffé assez fortement pour volatiliser tout le chlorure d'ammonium. Après le refroidissement, le chlorure a été repris par de l'eau pure; la solution, ayant reposé vingt-quatre heures, pour laisser opérer le dépôt de la *silice* et de l'*alumine*, a été additionnée de chloroplatinate d'ammonium, et le mélange a été de nouveau évaporé dans la cornue de platine, jusqu'à siccité complète. Le sel, qui était assez fortement coloré en jaune par le chloroplatinate, a été fondu dans un double creuset de platine. Lorsque tout le platine, provenant de la décomposition du chloroplatinate, se fut déposé, en entraînant avec lui au fond du vase la silice et l'alumine, je décantai dans un vase de platine tout le chlorure limpide, mais légèrement coloré en violet. Après l'avoir concassé, je l'ai repris par de l'eau pure, et la solution, après *deux* jours de repos, a été évaporée dans la cornue de platine; le résidu, qui était absolument blanc, a été additionné de tant soit peu de chlorure d'ammonium pur, et le mélange a été fondu dans un double creuset de platine, en ayant la précaution de maintenir la masse assez longtemps en fusion pour éliminer la dernière trace des produits de la décomposition du chlorure ammonique[1].

[1] Lorsqu'on fond le sel marin intimement mêlé avec du sel ammoniac sans maintenir le liquide pendant quelque temps au rouge vif, ce chlorure peut retenir des gaz et *même du sel ammoniac intact*. Les chlorures de potassium et de lithium présentent la même propriété.

Le chlorure obtenu était incolore, absolument transparent et tout à fait neutre au tournesol.

Il me semble impossible de mettre plus de soins à la préparation de ce chlorure, et je pense que les chimistes seront aussi étonnés que je l'ai été moi-même, lorsqu'ils verront, par les détails que je donnerai plus bas, que ce composé renferme de 4,7 à 5 cents millièmes de matières étrangères fixes (silice et traces de calcium). C'est une partie de ce chlorure sodique qui a servi à la *détermination du titre des différents argents* que j'ai employés pour les recherches consignées dans ces Mémoires; j'ai, du reste, signalé ce fait dans la notice consacrée à ce sujet [1].

1. $120^{gr},011$ de ce chlorure ont été transformés en azotate fondu, et ils ont produit $174^{gr},559$ de ce sel, d'où

$$NaCl : NaAzO^3 : : 100,000 : 145,455.$$

B. *Chlorure de sodium obtenu par la décomposition du chloroplatinate de sodium.* — Pour le préparer, j'ai pesé une partie du chlorure précédent, que j'ai dissous dans la plus petite quantité possible d'eau. La solution était absolument limpide; j'y ai ajouté une solution très-concentrée de bichlorure de platine pur, renfermant un poids de ce corps triple de celui du chlorure alcalin employé. Le mélange était *limpide*, d'un jaune doré; abandonné pendant vingt-quatre heures à lui-même, à une température comprise entre 5 et 9°, il n'a déposé aucune trace d'un chloroplatinate insoluble ou moins soluble. J'ai évaporé dans une chaudière de platine la liqueur jusqu'à siccité complète, et j'ai porté ensuite le résidu à une température à laquelle j'ai commencé à sentir un léger dégagement de chlore. Après le refroidissement, j'ai repris la masse par une quantité d'eau pure suffisante seulement pour en dissoudre à peu près les neuf dixièmes. Cette solution est restée vingt-quatre heures dans un vase de platine couvert; elle a été décantée et évaporée ensuite jusqu'à pellicule. Le sel, déposé par un refroidissement brusque, a été lavé à l'eau glacée, et les eaux de lavage avec l'eau-mère ont été évaporées

[1] *Mémoire sur les lois des proportions chimiques.* — Première partie : *Détermination du titre de l'argent de différentes provenances.*

à leur tour jusqu'à pellicule. Le nouveau sel produit a été lavé également à l'eau pure glacée, et les eaux de lavage ont été jointes à l'eau-mère décantée. Par ces traitements, je me suis arrangé de manière à répartir en trois portions à peu près égales les neuf dixièmes du chloroplatinate dissous.

La solution de ces trois quantités de chloroplatinate a été précipitée, séparément, par un petit excès de solution saturée de chlorure d'ammonium, obtenu par l'action de l'acide chlorhydrique gazeux sur une solution d'ammoniaque dans l'eau pure. La solution de sel marin produite a été évaporée dans une cornue de platine, et le résidu, mêlé de cinq pour cent environ de chloroplatinate d'ammonium, a été chauffé au rouge obscur. J'ai repris par de l'eau pure le chlorure mêlé de platine, et la solution, après deux jours de repos, a été évaporée de nouveau dans la cornue de platine, et le sel finalement fondu dans un double creuset de ce métal.

Les trois parties étaient, à l'état fondu, d'une limpidité remarquable; j'ai pu les décanter jusqu'à la dernière goutte sans pouvoir découvrir le moindre vestige de silice ou de platine déposé. Après le refroidissement, les chlorures étaient d'une *incolorité* complète. Les solutions étaient limpides, et neutres au tournesol.

Ces trois échantillons de sel marin constituent, avec les trois portions correspondantes du chlorure de potassium, du chloroplatinate de potassium, les plus beaux produits que j'aie possédés; et cependant leur examen m'a donné la *certitude* qu'ils renfermaient à peu près autant de matières fixes (silice) que le chlorure, si beau déjà, dont ils provenaient.

2. $32^{gr},4837$ du *premier tiers* du chlorure ont été transformés en azotate; cette transformation a été faite en collaboration avec M. Kekulé. Ils ont produit $47^{gr},2550$ d'azotate fondu; d'où

$$NaCh : NaAzO^5 :: 100,000 : 145,468.$$

3. $68^{gr},1295$ du *deuxième tiers* du chlorure ont produit $99^{gr},1045$ d'azotate fondu; d'où

$$NaCh : NaAzO^5 :: 100,000 : 145,465.$$

4. $47^{gr},9226$ *du troisième tiers* du chlorure ont fourni $69^{gr},7075$ d'azotate fondu; d'où

$$NaCh : NaAzO^5 : : 100,000 : 145,459.$$

Il me restait une certaine quantité de chlorure que j'avais extrait, en 1858, du chloroplatinate de sodium cristallisé six fois; je l'ai transformé en azotate, dans une petite cornue de verre qui n'était pas absolument inattaquable par les acides. Voici le résultat fourni par ce chlorure, dans cette condition :

5. $14^{gr},5380$ de ce sel ont produit $21^{gr},1465$ d'azotate fondu. (L'azotate était très-sensiblement alcalin); d'où

$$NaCh : NaAzO^5 : : 100,000 : 145,443.$$

Ces différentes données conduisent aux rapports proportionnels suivants :

RAPPORT PROPORTIONNEL ENTRE LE CHLORURE ET L'AZOTATE DE SODIUM.

Nos D'ORDRE.	POIDS du chlorure dans l'air.	POIDS de l'azotate dans l'air.	100,000 de chlorure produisent azotate :
	gram.	gram.	
I	120,0110	174,5590	145,453
II	32,4837	47,2550	145,468
III	68,1295	99,1045	145,465
IV	47,9226	69,7075	145,459
V	14,5380	21,1465	145,443
		Moyenne. . . .	145,4576
La réduction au vide ramène cette moyenne à. . . .			145,4526

8° *Examen des chlorures de sodium employés dans les déterminations.*

A l'aide de la volatilisation des chlorures, chauffés au blanc dans un courant d'azote *sec*, j'ai cherché la quantité de matières fixes contenue dans chaque partie de sel marin employé. Ces opérations ont été faites de la même manière que celle que j'ai décrite à l'occasion des recherches sur le chlorure de potassium; mais comme le sel marin est très-sensiblement moins volatil que le composé de potassium correspondant, j'ai eu soin d'élever davantage encore la température et de prolonger plus longtemps le courant d'azote *sec*. Je dis : l'azote sec; car, en se servant d'azote humide, on obtient pour résidu du silicate de sodium très-alcalin, au lieu d'un mélange de silice et de traces de silicate de sodium.

Voici les différents résultats obtenus :

1. *Chlorure produit à l'aide de l'acide chlorhydrique et du carbonate bisodique purifié.* — *a.* $10^{gr},000$ ont laissé $0^{gr},00047$ de silice, mêlée de traces de silicates de sodium et de calcium;

b. $10^{gr},000$ ont laissé $0^{gr},00050$ de silice, mêlée de traces de silicates de sodium et de calcium;

2. *Chlorure préparé à l'aide du chloroplatinate de sodium.* — *a.* $10^{gr},000$ de chlorure, du premier tiers du chloroplatinate cristallisé, ont laissé $0^{gr},00035$ de silice, mêlée de traces de silicate de sodium;

b. $10^{gr},000$ de chlorure, du troisième tiers du chloroplatinate, ont laissé $0^{gr},00045$ de silice, mêlée de silicates de sodium et de calcium.

En voyant de pareils résultats, on est obligé d'avouer son impuissance à produire une matière pure, lorsqu'il est impossible de la volatiliser.

La moyenne des poids des matières étrangères s'élève à 0,00043, pour dix grammes; si on corrige de cette quantité la moyenne générale 145,4526, on obtient de nouveau 145,4570 pour le poids de l'azotate, réduit au vide, produit par 100,000 de sel marin supposé pur.

9° *Du chlorure de lithium employé dans les déterminations.*

J'ai cru devoir déterminer simultanément le rapport proportionnel entre le chlorure de lithium et l'argent, et entre le chlorure et l'azotate de lithium, afin d'avoir un moyen certain de contrôler mes résultats.

Dans ce but, j'ai opéré la détermination de ces deux rapports proportionnels sur une partie d'un même chlorure. On conçoit, en effet, que le contrôle n'est possible que dans cette seule circonstance.

Je vais exposer successivement les méthodes employées pour me procurer le chlorure de lithium; je dirai ensuite comment je me suis assuré de sa pureté; je ferai connaître enfin comment je m'y suis pris pour déterminer les différents rapports proportionnels.

Pour obtenir du chlorure de lithium, je suis parti du carbonate de ce métal. Je dois une partie de ce carbonate à l'amitié de M. le docteur Hugo Müller, dont les beaux travaux sur les composés du lithium sont connus de tous les chimistes. J'ai retiré une autre partie, d'environ cinq kilogrammes de triphylline de Bodenmaïs, que feu Léopold Gmelin m'avait généreusement donnée vers 1848, pour m'aider dans des recherches sur une matière si rare à cette époque. Enfin, dans ces dernières années, le commerce m'a fourni un demi-kilogramme de carbonate de lithium, fabriqué en Allemagne pour l'usage de la médecine.

Le carbonate que je devais à l'obligeance de M. Hugo Müller et celui que j'avais extrait moi-même de la triphylline étaient déjà assez purs, et ils ne contenaient que des traces de sodium et de calcium. Celui que j'ai acheté dans le commerce contenait, outre le sodium et le calcium, des quantités notables de magnésium (de huit à dix pour cent d'hydrocarbonate de magnésium). Le poids total du carbonate sur lequel j'ai opéré s'est élevé à *douze cents grammes* environ. J'ai réuni le tout, pour le soumettre à un seul et même traitement préliminaire.

J'ai suspendu le carbonate dans dix fois son poids d'eau, et j'ai ajouté, petit à petit, de l'acide chlorhydrique concentré, jusqu'à ce que tout le précipité fût dissous. Au travers du liquide, renfermant un mélange de chlorure

et de carbonate lithique, j'ai fait passer un courant d'acide sulfhydrique aussi longtemps qu'il s'est coloré. J'ai maintenu la solution à la lumière solaire, dans un vase bouché, jusqu'à ce que le sulfure produit se fût complétement précipité et que le liquide fût devenu absolument incolore. Après avoir porté le liquide à l'ébullition, pour précipiter les carbonates de lithium et de magnésium dissous, j'ai éliminé successivement le calcium à l'aide de l'oxalate d'ammonium, le restant du magnésium au moyen d'une solution d'hydrate de baryum, et enfin l'excès de baryum employé par une solution de sulfate d'ammonium. Toute la solution a été évaporée, par parties successives, jusqu'à siccité, dans un vase de platine, et le résidu a été fondu pour éliminer les composés d'ammonium qui y étaient contenus. Le chlorure de lithium impur, obtenu ainsi, était tout à fait incolore, à réaction très-alcaline; je l'ai repris par la plus petite quantité possible d'alcool anhydre, et j'ai ajouté à la solution son volume d'éther. J'ai maintenu cette solution, pendant deux heures, dans un mélange réfrigérant formé de neige et de sel marin. La solution de chlorure de lithium, d'où il s'était précipité du chlorure de sodium avec tant soit peu de chlorure de potassium, a été évaporée dans une cornue de platine; elle a laissé un chlorure offrant au spectroscope une réaction sodique assez énergique, comme, du reste, M. Karl Diehl l'a reconnu dans son excellent travail sur le poids atomique du lithium.

Dans l'espoir de pouvoir opérer une séparation plus complète du sodium, j'ai transformé une partie du chlorure de lithium en azotate; j'ai repris ensuite cet azotate par la plus petite quantité d'alcool anhydre capable de le dissoudre, et j'ai ajouté à la solution un volume d'éther anhydre égal au sien; il ne s'est fait aucune séparation d'azotate de sodium. J'ai ajouté peu à peu au liquide de l'éther en quantité suffisante pour rendre une partie de l'azotate de lithium insoluble dans l'alcool éthéré. L'azotate resté en solution a montré au spectroscope la raie sodique, avec la même intensité que celui qui avait été précipité par l'éther.

L'alcool éthéré ne sépare donc pas plus le sodium de l'azotate de lithium qu'il ne le sépare du chlorure.

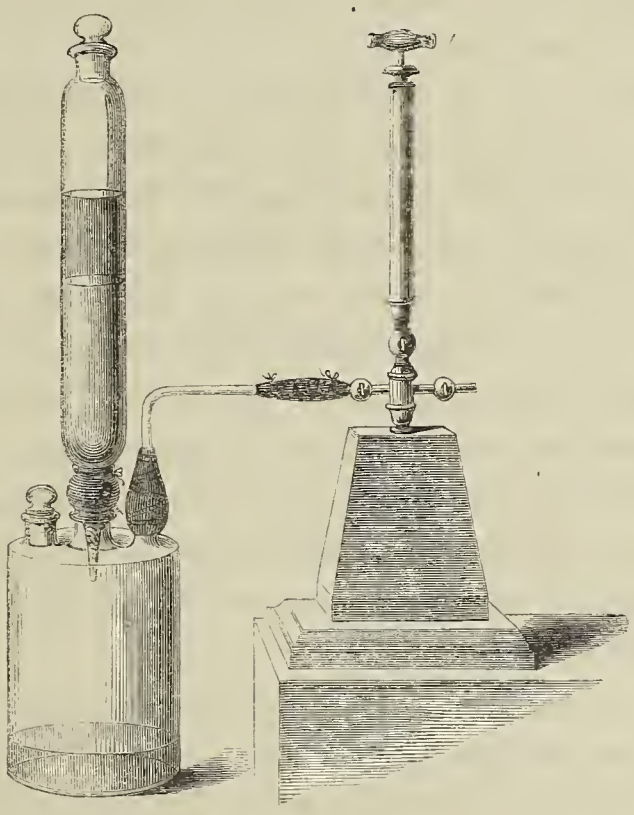
Devant cette impossibilité bien constatée, j'ai eu recours au moyen conseillé par M. Bunsen. Tel que M. Diehl l'a appliqué, il consiste à précipiter

la solution concentrée de chlorure de lithium par du carbonate biammonique, et à exprimer énergiquement le carbonate de lithium obtenu; à reprendre celui-ci par de l'acide chlorhydrique; à précipiter de nouveau la solution concentrée par du carbonate biammonique, et à répéter cette opération aussi longtemps que le précipité formé donne à l'analyse spectrale une réaction sodique sensible. Pour arriver à ce résultat, M. Diehl a dû répéter trente fois les dissolutions et les précipitations. Comme le carbonate biammonique n'élimine que la moitié du lithium contenu dans le chlorure, on est obligé, après chaque précipitation, d'évaporer à siccité la solution de chlorure d'ammonium et de lithium, et de fondre le résidu pour volatiliser tout le chlorure d'ammonium.

En m'y prenant de la manière suivante, j'ai obtenu, à l'aide de *sept* dissolutions et autant de précipitations, du carbonate de lithium ne présentant pas plus de réaction sodique que le sulfate de lithium préparé par M. Bunsen pour son travail sur le spectre de ce métal; sulfate dont l'illustre chimiste m'avait donné une partie destinée à servir de terme de comparaison pour les produits que je voulais préparer. Le chlorure provenant des douze cents grammes de carbonate de lithium a été dissous dans un poids d'eau égal. La solution, incolore et légèrement alcaline, a été versée petit à petit dans un excès de solution de carbonate biammonique. Ce carbonate biammonique avait été préparé en dissolvant jusqu'à refus du sesquicarbonate d'ammonium dans de l'ammoniaque liquide et concentrée. Quel que soit l'excès d'ammoniaque existant à côté du carbonate biammonique, il ne se produit point, à la température ordinaire, au delà du tiers du carbonate de lithium qui peut prendre ainsi naissance; de plus, le carbonate produit est plus ou moins gélatineux. Pour déterminer la précipitation de la moitié du carbonate de lithium, et pour obtenir en même temps ce sel à l'état *grenu*, état sous lequel il se prête aisément à un lavage méthodique, je place le vase renfermant le mélange dans un bain d'eau, dont j'élève la température au point de provoquer un dégagement d'ammoniaque gazeuse. En même temps, j'imprime un mouvement de rotation au vase, afin de provoquer la précipitation dans un liquide en mouvement. Je maintiens le vase dans le bain aussi longtemps que je m'aperçois que, sous l'influence de l'élévation de température, il se pro-

duit du carbonate de lithium insoluble dans le liquide. Arrivé à ce moment, j'abandonne le tout au repos. Après avoir décanté tout le liquide limpide, j'introduis la bouillie de carbonate dans un cylindre à déplacement, muni d'un tampon de toile fine, lavée à l'acide chlorhydrique dilué et maintenue à l'aide d'une bourre de gros fils de platine. Ce cylindre est fixé sur un réservoir sphérique ou cylindrique de verre, en communication avec une petite pompe pneumatique à main, comme le montre la figure ci-jointe.

Fig. 20.



A l'aide de quelques coups de pompe, j'élimine l'eau-mère, puis j'arrose petit à petit le carbonate d'eau distillée additionnée d'ammoniaque, tout en continuant à faire agir la pompe et en imprimant des chocs au cylindre pour maintenir en mouvement le carbonate. De cette manière, les fissures qui se produisent par le liquide descendant sont continuellement détruites, et, au bout d'une demi-heure de lavage, le sel est suffisamment purifié pour ne plus contenir au delà du centième de l'eau-mère primitivement interposée.

J'ai évaporé l'eau-mère et les eaux de lavages jusqu'à siccité, et j'ai chauffé le résidu de manière à éliminer la dernière trace de sel ammoniqne qui avait pris naissance.

Cette calcination, pour être complète, exige une température assez élevée, mais elle n'est pas accompagnée d'une perte notable de chlorure de lithium, quoique les flammes du fourneau qui sert de foyer soient fortement colorées en pourpre par le lithium entraîné par le sel ammoniac. J'ai précipité, par le moyen que je viens d'indiquer, la moitié du lithium qui était contenu dans le chlorure produit, et le carbonate obtenu a été introduit dans l'appareil à déplacement et soumis de nouveau à un lavage méthodique. Le sel bien lavé a été ajouté à celui qu'on avait obtenu dans la première précipitation. J'ai séché le tout, dans un vase de platine, à une température suffisamment élevée pour chasser l'ammoniaque qui y était contenue. J'ai suspendu ce carbonate dans son poids d'eau, j'ai ajouté petit à petit, au mélange, de l'*acide azotique pur* [1], jusqu'à ce que tout le composé de lithium fût dissous, et j'ai versé la solution d'azotate et de carbonate de lithium dans de l'ammoniaque concentrée, saturée de sesquicarbonate d'ammonium. J'ai répété à cinq reprises différentes la dissolution dans l'acide azotique, la précipitation par le carbonate biammonique et les lavages méthodiques, et je suis parvenu à extraire, des *douze cents* grammes de carbonate de lithium employés, *cinquante-cinq* grammes de carbonate sec et dépouillé d'ammoniaque, dans lequel il m'a été impossible de constater la réaction sodique plus fortement que dans l'air du laboratoire où je travaillais.

J'indiquerai plus loin l'usage que j'ai fait de ce composé.

J'ai réuni les eaux-mères et de lavages des quatre dernières dissolutions et précipitations; je les ai évaporées et j'ai chauffé le résidu afin de détruire l'azotate d'ammonium. Après avoir repris l'azotate par de l'eau, j'ai versé la solution dans du carbonate biammonique. Le carbonate de lithium, devenu grenu, a été lavé comme je l'ai dit plus haut. Ce sel présentait naturellement une réaction sodique très-sensible. J'ai éliminé l'ammoniaque par la chaleur,

[1] J'ai remplacé l'acide chlorhydrique par l'acide azotique, parce que l'azotate de lithium est facile à dépouiller d'azotate d'ammonium; tandis que le chlorure de lithium ne peut être aussi aisément privé de chlorure d'ammonium.

et j'ai introduit tout le carbonate dans un très-grand flacon de Woulf contenant *dix litres* d'eau pure. J'ai fait passer au travers du mélange de l'anhydride carbonique pur [1], aussi longtemps que le carbonate de lithium a paru se dissoudre; résultat que l'on n'atteint qu'après sept à huit heures d'action. Lorsque le liquide se fut parfaitement éclairci par le repos, je décantai la partie limpide qui fut chauffée fractionnellement, jusqu'à l'ébullition, dans un grand vase de platine. J'ai maintenu l'ébullition tant qu'il y a eu effervescence et dépôt de carbonate de lithium. J'ai écarté toutes les eaux-mères renfermant encore au delà du quart du carbonate primitivement dissous; elles présentaient le caractère sodique d'une manière assez prononcée. J'ai lavé dans un appareil à déplacement et à l'aide de l'eau pure et froide le sel précipité.

Par une nouvelle quantité d'eau et un nouveau courant d'anhydride carbonique, j'ai dissous le carbonate resté indissous dans la première opération. En chassant l'anhydride à l'aide de la chaleur, j'ai précipité encore du carbonate de lithium, en écartant également l'eau-mère. Cette eau-mère présentait beaucoup moins le caractère sodique que la première. Après avoir lavé aussi bien que possible, dans l'appareil à déplacement, le sel produit, je l'ai joint au premier et j'ai de nouveau introduit le tout dans le grand flacon de Woulf, avec une quantité d'eau pure suffisante pour le dissoudre sous l'influence d'un courant prolongé d'anhydride carbonique. La dissolution accomplie, ce que je ne suis parvenu à réaliser qu'au bout de deux jours de passage continu, j'ai chauffé de nouveau la solution de carbonate monolithique, afin d'en précipiter tout le sel qu'il peut fournir par le simple dégagement de l'anhydride carbonique. L'eau-mère donnait une réaction sodique excessivement faible. Le carbonate produit a été lavé dans un appareil à déplacement aussi long-

[1] Pour obtenir cet anhydride, j'ai chauffé du carbonate monosodique placé dans un grand ballon; le gaz, avant de pénétrer dans le flacon contenant le carbonate de lithium, se rendait d'abord dans un flacon contenant de la pierre-ponce en très-petits fragments et humectée d'eau pure; il passait ensuite dans un tube en U rempli d'asbeste feutré. Je me suis assuré qu'en faisant passer cet anhydride à travers la flamme d'un bec de Bunsen, il ne lui communiquait aucun caractère sodique. L'anhydride carbonique, dégagé d'un carbonate par un acide, quelque soin que l'on mette à le laver, communique à la flamme le caractère du métal existant dans ce carbonate.

temps que le résidu et l'eau de lavage ont donné un indice sensible de la raie sodique. Ainsi, deux dissolutions dans l'anhydride carbonique, et deux précipitations suivies de lavages prolongés, ont suffi pour éliminer tout le sodium d'un carbonate purifié d'ailleurs puissamment par d'autres moyens. D'après M. Troost, auquel j'ai emprunté cette méthode de purification de ce sel, on peut obtenir ce résultat à l'aide du carbonate de lithium brut.

J'indique plus loin l'usage que j'ai fait d'une partie du carbonate de lithium ainsi préparé.

Pour être certain de mes résultats, j'ai voulu pousser plus avant les purifications. Dans ce but, j'ai répété deux fois encore, sur une partie de carbonate, la dissolution dans l'anhydride carbonique, la précipitation et le lavage du précipité; mais je dois l'avouer, il m'a semblé que le carbonate obtenu après cette quatrième série d'opérations ne différait en rien de celui qui n'avait pas été soumis à ces nouveaux traitements.

Par suite des éliminations des eaux-mères et des eaux de lavage, je n'ai retiré des *douze cents grammes* de carbonate de lithium, dont plus de la moitié était déjà d'une assez grande pureté, que *cent quarante-cinq* grammes de carbonate, qui, répartis en trois portions distinctes, ont été transformés en chlorure. Je vais exposer maintenant comment j'ai exécuté cette transformation.

J'ai rempli aux *deux tiers*, de carbonate de lithium, une petite et une très-grande nacelle de platine pur. Cette quantité est suffisante pour que le sel, étant converti en chlorure fondu, remplisse les trois quarts environ de la capacité de chaque vase. Avant d'introduire le sel dans les nacelles, j'ai déterminé avec tous les soins possibles la *différence de poids qui existe entre elles lorsqu'on les pèse dans le vide*. Je m'expliquerai plus loin sur le motif qui nécessite cette détermination.

Ces vases étant préparés, je les ai placés bout à bout sur une feuille de platine assez épaisse, et j'ai fait suivre la grande nacelle d'une très-petite, non pesée, contenant également une partie du même carbonate de lithium. Cette dernière nacelle devait me servir de témoin pour me renseigner sur la nature des chlorures contenus dans les deux premières, auxquelles il ne m'était plus possible de toucher dans la suite. J'ai glissé cette feuille de platine

dans un tube de verre très-réfractaire, qui était tapissé, sur les deux tiers de sa surface interne, d'une gaîne de platine destinée à empêcher le contact du verre avec la feuille supportant les nacelles. Le tube de verre, très-réfractaire, reposait dans une gaîne de tôle remplie de magnésie fortement calcinée, placée elle-même au-dessus d'une grille à gaz munie sur sa longueur de 26 becs de Bunsen. A l'aide d'un tube en caoutchouc, j'ai adapté à l'un des bouts du tube réfractaire un tube en T, dont une branche était destinée à amener de l'acide chlorhydrique pur et sec, pour transformer le carbonate en chlorure, et dont l'autre branche devait amener, après la transformation, de l'azote pur et sec pour chasser l'atmosphère d'acide chlorhydrique. L'autre bout pénétrait dans un ballon tubulé, où devait se condenser l'eau acide provenant de la réduction du carbonate; ce ballon tubulé portait un tube à dégagement qui se rendait dans une cheminée.

Pour opérer la transformation, j'ai commencé par chauffer le carbonate de lithium à une température à laquelle ce corps, dans une atmosphère d'acide chlorhydrique, passe à l'état de chlorure sans se liquéfier dans l'eau qui prend naissance. Cette température est comprise entre 160 et 175°. On remarque, à ce degré, que le volume du sel augmente, et que le composé se fritte en devenant plus ou moins transparent, de terreux qu'il était; l'eau produite est éliminée, à l'état de vapeur, à mesure qu'elle prend naissance. Ce degré de chaleur étant atteint, ce dont je me suis assuré à l'aide d'un thermomètre couché dans la gaîne de magnésie, j'ai dégagé lentement du gaz acide chlorhydrique sec et pur, et j'ai prolongé le courant, à la même température, aussi longtemps qu'il s'est produit la moindre trace de liquide par le refroidissement du gaz qui avait traversé le tube. Lorsque, par un essai préalable, on a étudié convenablement la réaction, on peut opérer la transformation intégrale du carbonate sans produire la moindre projection de chlorure. La voûte du tube dans laquelle l'opération se passe est aussi nette après l'opération qu'avant.

La transformation accomplie, j'ai remplacé le ballon tubulé renfermant l'eau acide par un tube long et sec. J'ai diminué alors considérablement le dégagement d'acide chlorhydrique, de manière à maintenir seulement une atmosphère de ce gaz, sans courant; et, après avoir enlevé le thermomètre de

la magnésie, j'ai élevé au rouge sombre la gaîne de tôle contenant la magnésie et le tube. Le chlorure formé dans les trois nacelles s'est lentement fondu, sans dégager la moindre trace de vapeur d'eau, appréciable par la production d'un liquide sur la partie refroidie du tube. A l'état fondu, le chlorure était absolument incolore, d'une limpidité complète et d'une mobilité qui m'a frappé (je ne puis la comparer qu'à celle d'un gaz liquéfié). A la température de la fusion, le chlorure a émis des vapeurs sensibles, qui, déplacées par le gaz acide chlorhydrique, sont venues se déposer sur la partie refroidie du tube. M. Troost, qui a fondu également le chlorure de lithium, dans les conditions que je viens d'indiquer, a trouvé qu'on peut le liquéfier dans le gaz acide chlorhydrique sans lui faire éprouver une perte de poids. M. Penny a observé le même fait pour les chlorures de potassium et de sodium; il m'a été impossible de réaliser ce résultat pour l'un quelconque de ces chlorures. Je le répète, à une température suffisante pour les amener en pleine fusion, j'ai constaté l'émission de vapeurs; aussi je doute fort de l'exactitude des pesées, faites en se basant sur le maintien intégral du poids dans ces conditions.

Quoi qu'il en soit, lorsque le chlorure fondu eut séjourné une vingtaine de minutes dans l'atmosphère d'acide chlorhydrique sèche et lentement renouvelée, je substituai, au tube long et vide qui termine l'appareil, un tube à chlorure de calcium, je remplaçai lentement le gaz acide par de l'azote pur et séché au moyen de l'anhydride phosphorique, et je laissai refroidir les chlorures dans le tube, au sein du courant d'azote.

Le refroidissement accompli, j'ai bouché les deux bouts du tube en verre réfractaire à l'aide de deux calottes de caoutchouc naturel, solidement appliquées sur le tube à l'aide de ligatures.

10° *De la pesée du chlorure de lithium dans le vide.*

Plusieurs chimistes m'ont exprimé le désir de voir décrire en détail les moyens dont je me sers pour faire les pesées dans le vide. Je saisis l'occasion de la pesée du chlorure de lithium, qui a dû nécessairement être faite dans cette condition, pour satisfaire à leur demande. Ces pesées ont eu lieu dans

des cylindres de verre dur et épais, de sept centimètres de diamètre sur trente-cinq centimètres de longueur, fermés par un bout. Le bout ouvert de ces cylindres est parfaitement dressé et muni d'armatures métalliques, solidement mastiquées à l'aide d'un mastic résineux peu fusible et fixe sans décomposition.

Sur cette armature se visse une pièce mobile, terminée par un robinet de *laiton* dont la clef est de *bronze*.

Ces cylindres jumeaux ont absolument le même poids et le même volume extérieur; de manière que, vides ou pleins d'air, ils se font équilibre dans l'air. Pour leur permettre de tenir le vide, j'interpose, entre l'armature fixée sur le cylindre et la pièce mobile portant le robinet, un cuir parfaitement *dressé, séché soigneusement, pénétré dans le vide de paraffine fondue* [1]; le poids des deux cuirs est identique.

Comme j'ai besoin de peser d'abord deux nacelles de platine vides, ayant des poids inégaux, et ensuite les mêmes nacelles contenant du chlorure de lithium fondu, et comme je ne dispose que de *deux* cylindres pour ces quatre pesées, j'ai dû recourir à un artifice que l'on peut appliquer à un nombre quelconque de pesées de vases, de poids inégaux. Cet artifice consiste à déterminer exactement la *différence* de poids qui existe entre les nacelles, lorsqu'on les pèse dans le vide. Pour trouver cette différence, j'ai commencé par introduire la grande nacelle dans un des cylindres, et, après y avoir fait soigneusement le vide, j'ai suspendu ce cylindre au plateau de la balance par le moyen que j'indiquerai plus loin. J'ai établi ensuite l'équilibre en opposant l'autre cylindre et en suppléant, à l'aide de plomb, la différence de poids provenant du poids de la nacelle. Ce résultat atteint, je laisse rentrer de l'air *sec* dans le cylindre contenant le vase de platine, je l'ouvre ensuite, j'en extrais la grande nacelle et je la remplace par la petite. Après avoir fait une seconde fois le vide au même point que dans la première pesée, j'attache le cylindre au plateau. Après un repos convenable, je parfais l'équilibre rompu en ajoutant des poids de platine sur le plateau même de la

[1] Je prépare ces cuirs par les moyens que j'ai fait connaître dans ma *Notice sur l'analyse complète de l'iodate d'argent.*

balance. Il est bien évident que la somme des poids employés à cet effet représente *la différence, dans le vide, du poids des deux nacelles*. Or, il suffit de connaître cette différence, pour pouvoir employer les mêmes cylindres à la pesée successive des deux nacelles chargées de chlorure, lorsque les cylindres contenant l'une ou l'autre nacelle vide ont été préalablement équilibrés.

Cette *différence*, en effet, constitue une *constante* qui doit être ajoutée ou retranchée des poids placés préalablement sur les plateaux de la balance, suivant qu'on a primitivement équilibré le cylindre, dans le vide, avec la *petite* ou avec la *grande* nacelle de platine [1].

Dans mes pesées du chlorure de lithium, les cylindres ont été équilibrés avec la petite nacelle, dans le cylindre droit, vide d'air, comme je vais essayer de l'exposer.

Lorsque j'exécute des pesées dans des cylindres, je commence par sécher absolument la capacité de celui que je suspends au *plateau droit*. Pour atteindre ce résultat, j'y place une nacelle de fer renfermant un mélange d'oxydes de potassium et de cuivre [2]; cette nacelle est renfermée dans un large tube ouvert par les deux bouts. Après avoir fait le vide dans le cylindre, je l'abandonne pendant quelques heures à lui-même, afin de laisser à l'oxyde de potassium le temps de s'emparer de la dernière trace d'humidité. J'y laisse alors pénétrer de l'air *sec*, je dévisse la pièce mobile, j'en extrais rapidement le tube ouvert contenant la nacelle de fer, et j'introduis dans le cylindre la petite nacelle de platine qui doit contenir plus tard le chlorure de lithium; j'avais déterminé la différence de poids de cette nacelle, dans le vide, avec

[1] Ce raisonnement n'est rigoureusement exact qu'autant que les conditions de pression et de température de l'air ne changent point, d'une pesée à une autre; mais comme le volume de l'air déplacé par les poids de platine est très-petit, et que le poids lui-même n'est pas très-considérable, le changement de poids dans la valeur de la constante, qui résulte de la variation de la pression et de la température, tombe au-dessous des différences que l'on peut constater à l'aide de la balance la plus sensible.

Je raisonne du reste dans l'hypothèse que les bras de levier aient rigoureusement conservé, d'une pesée à une autre, le même rapport de longueur.

[2] J'obtiens une pareille nacelle en chauffant jusqu'au rouge vif, dans un tube de porcelaine, une nacelle de fer remplie à moitié d'un mélange d'une partie d'azotate de potassium avec deux parties et demie de cuivre rouge très-divisé. Je conserve continuellement cette nacelle dans des tubes hermétiquement bouchés. Elle ramène à 0° l'hygromètre de Saussure, plus rapidement que ne le fait l'anhydride phosphorique.

la grande nacelle qui devait recevoir également du chlorure de lithium. Je fais ensuite le vide au moyen d'une excellente machine pneumatique. Afin d'empêcher les émanations de la machine de pénétrer dans le cylindre, j'interpose entre celui-ci et la pompe un tube de verre de près d'un mètre de longueur, renfermant de l'hydrate de potassium chauffé au rouge et concassé. L'air étant soustrait, à l'aide d'un support métallique de forme adaptée au cylindre, je suspends celui-ci horizontalement au plateau droit de la grande balance, à laquelle j'ai donné préalablement le maximum de sensibilité pour la charge qu'elle est destinée à supporter. Je place en même temps, sur les deux plateaux de la balance, des poids de platine *supérieurs* à la différence qui existe entre le poids des deux nacelles, et supérieurs en même temps au poids du chlorure que les nacelles de platine sont destinées à recevoir. Par un support métallique identique à celui de droite, quant à la matière et au poids, j'attache au plateau gauche de la balance le cylindre correspondant au premier, mais dont momentanément la pièce mobile est dévissée et attachée au support du plateau gauche.

Dans cet état, je ramène les masses suspendues librement à la balance à l'état d'équilibre, à un décigramme environ, en introduisant du plomb métallique dans le cylindre gauche qui est resté ouvert. Ce résultat obtenu, je visse la pièce mobile sur le cylindre et je la serre suffisamment, avec la clef destinée à cet usage, pour que l'air n'y puisse entrer, ni en sortir. J'établis ensuite l'équilibre parfait, en plaçant à cet effet sur le plateau gauche des fragments de feuille d'étain. Lorsqu'on a manié les cylindres, même avec interposition de linge, il faut qu'ils soient abandonnés quatre à cinq heures à eux-mêmes dans un air en repos, pour que leurs surfaces soient dans les mêmes conditions, et que la pesée reste constante. Une fois l'équilibre établi, il se conserve des mois entiers, si la pièce vissée est suffisamment serrée et si le robinet dont elle est munie est assez parfait.

L'équilibre établi, je laisse entrer dans le cylindre *droit* de l'air séché par son passage sur de la pierre ponce humectée d'acide sulfurique, je desserre la pièce vissée, et j'extrais la nacelle, que je remplace par le tube ouvert par les deux bouts, et contenant le mélange d'oxyde de potassium et de cuivre, en attendant que ce tube puisse à son tour être remplacé successivement

par la petite et par la grande nacelle dans lesquelles j'ai formé le chlorure de lithium destiné aux expériences.

Pour peser le chlorure de lithium existant dans la petite nacelle, je commence par chauffer le tube réfractaire dont j'ai parlé plus haut, afin d'augmenter la tension de l'azote qui y est contenu; je retire ensuite du cylindre la nacelle destinée à maintenir l'espace sec, et, après avoir enlevé une des calottes de caoutchouc qui bouchent hermétiquement le tube de verre réfractaire, j'engage jusqu'au fond du cylindre le bout ouvert de ce tube maintenu chaud; j'incline ensuite le tout de manière à faire glisser au fond du cylindre la première des deux nacelles qui doivent être pesées. Lorsqu'elle est descendue je retire le tube, j'adapte immédiatement la pièce vissée et je bouche de nouveau hermétiquement le tube renfermant encore les deux autres nacelles.

Après avoir serré la pièce vissée à l'aide de sa clef, je fais le vide dans le cylindre au même point que lors de la première pesée. Il est à peine nécessaire de dire que, pendant les opérations, je ne touche jamais le cylindre avec les mains sans l'avoir préalablement enveloppé de linge fin. Je suspends ensuite de nouveau le système à la balance. Après *quatre* heures d'attente, je rétablis l'équilibre. A cet effet, j'enlève du plateau *droit* des poids de platine jusqu'à ce que j'aie atteint ce résultat. En supposant que, pendant le temps écoulé depuis la première pesée jusqu'à la seconde, les deux bras de la balance aient conservé rigoureusement le même rapport de longueur, et que la nacelle de platine ait conservé absolument son poids, il est évident que le poids du chlorure est égal à la différence qui existe entre le poids placé primitivement et celui qui est nécessaire pour parfaire l'équilibre; correction faite du poids de l'air perdu par les poids de platine correspondant à cette différence. La longueur des bras de ma grande balance est rigoureusement égale; et je garantis les bras de la balance contre toute inégale dilatation par la chaleur, en couvrant d'une *double toile blanche*, pendant les pesées, la cage qui la renferme. Cette précaution réussit parfaitement, comme je m'en suis assuré très-souvent; et sans elle, je ne suis jamais parvenu à des pesées constantes.

J'ai constaté la conservation du poids de la nacelle, en l'introduisant dans

le cylindre, après en avoir extrait par l'eau le chlorure qui y était contenu. J'ai trouvé ainsi que le platine, qui avait été suffisamment dépouillé de fer par son exposition au rouge dans une atmosphère de chlorure d'ammonium, conserve rigoureusement son poids, lorsqu'on y fond et même qu'on y volatilise complétement du chlorure de lithium dans une atmosphère privée d'oxygène. La différence, s'il s'en présente, tombe toujours dans la limite des variations constatées entre deux pesées d'une même nacelle, dans le vide.

Pour déterminer le poids du chlorure contenu dans la grande nacelle, je chauffe de nouveau le tube réfractaire, afin d'augmenter la tension de l'azote qui y est contenu; j'enlève ensuite une des calottes adaptées aux bouts du tube, et j'introduis le bout ouvert au fond du cylindre; j'incline le tout de manière à faire glisser le vase de platine. Je ferme immédiatement le cylindre à l'aide de la pièce vissée, et le tube au moyen de la calotte de caoutchouc. Lorsque la pièce est suffisamment serrée, je fais soigneusement le vide dans le cylindre et je le suspends ensuite au plateau *droit* de la balance. J'ai dit plus haut qu'en établissant l'équilibre entre le cylindre contenant la petite nacelle et le cylindre vide, j'ai déposé en même temps sur les deux plateaux de la balance des poids supérieurs à la différence existant entre le poids des deux nacelles et le poids du chlorure de lithium qui y est contenu. Pour connaître le poids du chlorure renfermé dans la grande nacelle, après avoir attendu quatre à cinq heures, je soustrais du plateau des poids de platine, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. La différence entre le poids placé primitivement sur le plateau droit et celui qui reste lors du rétablissement de l'équilibre, se compose du poids du chlorure de lithium et de la différence de poids entre les deux nacelles. En retranchant donc la valeur de cette différence du poids total, on a le poids *apparent* du chlorure. Quoique le chlorure de lithium se trouve dans le vide, je dis que la soustraction ne donne que le poids *apparent*, parce que les poids de platine se trouvant dans l'air perdent un poids égal à celui du poids du volume d'air qu'ils déplacent. Pour obtenir le poids *réel* on doit donc retrancher du poids *apparent* le poids de l'air déplacé par les poids de platine correspondants.

J'ai fait, de cette manière, *trois doubles séries de pesées de chlorure de lithium dans le vide*. Le chlorure contenu dans la petite nacelle était destiné

à la détermination du rapport proportionnel de ce corps avec l'argent; le chlorure formé dans la grande nacelle a servi à la détermination de son rapport proportionnel avec l'azotate de lithium. Je donnerai plus bas, en *deux séries,* tous les éléments de ces trois doubles pesées. Ils permettront de juger combien ce mode de pesées, appliqué aux corps les plus hygrométriques connus, fournit des résultats concordants, lorsqu'on dispose de balances suffisamment parfaites et qu'on se donne la peine de consacrer aux différentes opérations tous les soins nécessaires.

11° *Examen des chlorures qui ont servi aux déterminations.*

J'ai dit plus haut que j'ai fait suivre la grande nacelle de platine, renfermant le carbonate de lithium destiné à être transformé en chlorure, d'une petite nacelle contenant également du même carbonate. J'ai ajouté cette dernière pour servir de témoin, à l'effet de me renseigner sur la nature des chlorures contenus dans les deux premières nacelles auxquelles il ne m'était pas possible de toucher pour ne pas les mettre en contact de l'air humide. Je vais exposer en quelques mots le traitement auquel j'ai soumis les nacelles *témoins.* Je rappellerai d'abord que dans les trois séries d'opérations, le chlorure existant dans chacune des trois nacelles était absolument *incolore* et *transparent.* Il m'a semblé que, d'après le mode de production employé pour le carbonate et pour le chlorure, ce dernier corps ne pouvait guère contenir d'autres matières étrangères que des traces d'oxyde ou d'hydrate de lithium.

Pour m'assurer du fait, j'ai dissous une partie du chlorure de chaque nacelle témoin, dans une petite quantité d'eau; ce liquide, en le dissolvant, a conservé toute sa transparence : la solution bleuissait très-*lentement,* mais *positivement,* le papier rouge de tournesol. J'ai observé cette faible alcalinité sur les trois échantillons de chlorure que j'ai produits. J'ai voulu rechercher si cette alcalinité est due à un défaut de préparation commun à ces trois chlorures, ou si elle dépend de la nature du composé. Dans ce but j'ai introduit deux des nacelles témoins, contenant chacune au moins trois grammes et demi de chlorure, dans un tube de porcelaine renfermant une feuille de platine, et, après avoir chauffé le tube au rouge presque blanc, j'y

ai fait passer un courant d'acide chlorhydrique *sec* de manière à volatiliser au moins la moitié du chlorure contenu dans chaque nacelle. Après avoir remplacé au *rouge* l'acide chlorhydrique par de l'azote pur et sec, j'ai laissé refroidir le tube, et j'ai extrait ensuite les nacelles. Une partie du chlorure resté dans chacune des nacelles a été dissoute séparément dans une petite quantité d'eau, et la solution appliquée sur le papier de tournesol rougi l'a lentement bleui, absolument de la même manière que le faisaient ces composés avant d'être soumis à ce nouveau courant d'acide. Je conclus donc de ce fait que le chlorure des deux nacelles qui précèdent la nacelle témoin se trouve dans la *condition normale* de formation de ce composé.

Quelque improbable que soit l'existence de matières fixes dans les chlorures produits, j'ai voulu cependant m'assurer s'ils se volatiliseraient sans laisser aucune trace de résidu. J'ai réuni à cet effet, dans une seule nacelle pesée, le chlorure restant des trois témoins, et je l'ai soumise, à une chaleur *blanche*, à un courant d'acide chlorhydrique sec. La nacelle qui était en platine tout à fait pur, s'est vidée sans laisser de trace visible à la loupe. Le métal ne présentait absolument aucun changement dans son *aspect physique* ou dans son *poids*.

Je vais exposer maintenant comment j'ai exécuté la détermination des rapports proportionnels.

12° *Du moyen employé pour la détermination du rapport proportionnel entre le chlorure de lithium et l'argent.*

J'ai procédé à cette détermination par la méthode employée pour la recherche du rapport proportionnel entre l'argent et les chlorures de potassium, de sodium, d'ammonium.

Après avoir pesé dans le vide le chlorure de lithium, j'ai calculé et pesé ensuite dans l'*air* les quantités d'argent correspondant au poids du chlorure de lithium constaté. Pour établir ce calcul, j'admettais par *hypothèse* le lithium = 7,00; le chlore = 35,50, et l'argent = 108,00.

La dissolution de l'argent a été opérée par la méthode décrite dans la première partie de mon *Mémoire sur les lois des proportions chimiques*, à l'occa-

sion de la *détermination du titre de l'argent de différentes provenances.* Après la dissolution du métal et le refroidissement du flacon, j'ai ajouté au liquide un volume d'eau quatre fois plus considérable que celui de l'acide azotique dilué employé pour effectuer la dissolution de l'argent.

Le flacon étant descendu dans la chambre obscure, et, par surcroît de précaution, étant entouré d'une double toile noire, j'y ai introduit le chlorure de lithium.

Comme une partie du chlorure reste adhérente à la nacelle dans laquelle il a été formé, il faut que je dise comment je m'y suis pris pour que le poids total du composé pénétrât dans le flacon pour précipiter la solution argentifère. Le chlorure qui a été fondu dans une nacelle de platine se détache en bloc, à l'aide d'une très-légère traction exercée sur les bords latéraux de la nacelle; il reste seulement adhérent, tout autour, un anneau mince, provenant des bords du ménisque du chlorure fondu. Pour introduire le tout dans le flacon, je prends le petit bloc à l'aide d'une pince de platine et je le glisse dans le flacon *incliné;* après avoir redressé le vase, je le surmonte d'un petit entonnoir dans lequel je place la nacelle; je lave ensuite celle-ci avec de l'eau pure, renouvelée assez longtemps pour qu'aucune trace de chlorure n'échappe à la solution; je bouche enfin solidement le flacon et je le fais secouer jusqu'à ce que le liquide soit devenu *limpide.*

Je procède alors, à l'aide de solutions normales de chlorure d'ammonium et d'azotate d'argent, à la détermination du titre du liquide. Je place pour cela le flacon dans l'appareil à titration, que j'ai figuré page 43 du *Mémoire sur les lois des proportions définies.* Dans les trois expériences que j'ai faites ainsi, j'ai constaté *invariablement* un *excès* d'argent, très-faible sans doute, mais proportionnel aux quantités employées. L'essai du titre du liquide s'exécute avec la même facilité que celui d'une liqueur dont on a précipité le chlore du chlorure de sodium. L'expérience présente l'incertitude que j'ai signalée déjà pour les chlorures de potassium, de sodium et d'ammonium. Dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques,* j'ai dit en effet qu'un liquide dont on a précipité, à l'aide d'une liqueur saline, à peu près tout l'argent, mais contenant encore entre un et deux milligrammes d'argent par litre, précipite également par l'addition d'une solution normale d'argent et de sel marin. Ce phénomène, du reste,

est d'autant plus prononcé que le liquide est *moins fortement acidulé*. Le chlorure de lithium offre ce phénomène à un degré presque aussi prononcé que le chlorure d'ammonium; des trois chlorures alcalins, c'est ce dernier qui le présente avec le plus d'intensité. Je dois donc faire remarquer que, dans tous mes essais, j'ai ajouté de la liqueur normale de chlorure d'ammonium jusqu'à la cessation de tout précipité. Si un jour on vient à démontrer, comme je le crois probable, que ce moyen comporte une erreur, on aura, par la présente déclaration, les éléments nécessaires pour corriger mes résultats.

Il me reste maintenant à faire connaître toutes les données numériques de ces trois expériences :

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

Le chlorure de lithium a été préparé au moyen du carbonate obtenu à l'aide de la précipitation de l'azotate par le carbonate biammonique; les opérations étant renouvelées jusqu'à ce que la raie sodique eût cessé de se montrer dans le spectre du lithium.

	gram.
1. Le cylindre droit, contenant la petite nacelle dans le vide à $0^m,0005$, a été équilibré avec *deux cents grammes de platine* sur chaque plateau [1]	200,0000
2. Le cylindre, contenant la petite nacelle avec le chlorure de lithium, dans le vide à $0^m,0005$, est en équilibre avec	192,1145
3. Le même cylindre, le lendemain, après avoir constaté que le vide s'était conservé	192,1150
4. Poids de l'air déplacé par les poids de platine soustraits du plateau pour rétablir l'équilibre	0,00048
5. — de l'argent pesé dans l'air.	20,03480

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Chlorure de lithium provenant de la dissolution du carbonate par l'anhydride carbonique, de la précipitation par la chaleur, et du lavage du carbonate; les opérations étant répétées jusqu'à la disparition de la raie sodique.

	gram.
1. Le cylindre *droit* contenant la petite nacelle de platine dans le vide à $0^m,0005$, a été équilibré avec.	200,0000

[1] L'incertitude en plus ou en moins est égale à $0^{gr},00025$. La balance pesant la charge complète donne avec constance les deux dixièmes de milligramme.

	gram.
2. Le cylindre droit, contenant la petite nacelle avec le chlorure de lithium, dans le vide à $0^m,0005$, est en équilibre avec. . . .	195,0786
3. Le lendemain, même poids.	195,0786
4. Poids de l'air déplacé par les poids de platine soustraits du plateau pour rétablir l'équilibre.	0,0004
5. — de l'argent pesé dans l'air.	17,5865

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

Chlorure de lithium préparé avec une partie du carbonate à l'aide duquel on a formé le chlorure précédent; ce carbonate ayant subi encore deux traitements supplémentaires.

	gram.
1. Le cylindre droit, contenant la petite nacelle dans le vide à $0^m,0005$, est équilibré avec.	200,0000
2. Le cylindre, contenant la petite nacelle avec le chlorure de lithium, dans le vide à $0^m,0005$, est en équilibre constant avec . . .	189,0335
3. Poids de l'air déplacé par les poids de platine soustraits du plateau droit.	0,00066
4. Poids de l'argent pesé dans l'air.	27,86484

Ces trois expériences conduisent aux résultats suivants :

RAPPORT PROPORTIONNEL ENTRE LE CHLORURE DE LITHIUM ET L'ARGENT.

Nos D'ORDRE.	POIDS appart du chlorure de lithium.	POIDS réel du chlorure de lithium.	POIDS de l'argent dans l'air.	POIDS de l'argent dans le vide.	POIDS de l'excédant de l'argent après la double décomposition.	100,000 d'argent équivalent à chlorure de lithium.
	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	
I.	7,8850	7,88452	20,0348	20,0360	0,0025	39,356
II.	6,0214	6,0210	17,5863	17,5871	0,0028	39,387
III.	10,9665	10,96584	27,86484	27,8665	0,0068	39,361
					Moyenne. . . .	39,358

Si l'on déduit le poids moléculaire du chlorure de lithium de la moyenne

inscrite dans le tableau précédent, on trouve 42,479, bien entendu en admettant 107,93 pour le poids de l'argent, valeur qui résulte de l'ensemble des expériences consignées dans le Mémoire consacré à ce sujet. Ce poids moléculaire conduit au poids atomique du lithium 7,022, en admettant pour le chlore 35,457, chiffre qui dérive également des recherches consignées dans le même Mémoire.

Les travaux exécutés dans ces derniers temps sur le lithium ont donné le poids atomique suivant :

M. Mallet a trouvé.	6,95
M. Dumas a donné [1].	7,00
M. Karl Dichl a obtenu en moyenne.	7,026
M. Troost a conclu d'expériences dont les résultats ont varié entre 6,99 à 7,06, et dont la moyenne est 7,022, que ce poids est . .	7,00
Enfin, les trois déterminations ci-dessus donnent.	7,022

En me basant seulement sur ces trois déterminations, je suis bien loin de prétendre que le poids atomique du lithium ne soit pas 7,00. Ce fait, du reste, est sans importance aucune. Mais je crois que, dans l'état de la science, c'est violer tous les principes que de choisir arbitrairement un nombre qui n'est pas celui de la moyenne, comme le fait M. Troost. Un pareil procédé ne pourra être suivi que lorsqu'on aura démontré *à priori* quels sont les rapports entre lesquels les poids atomiques des corps doivent être compris, et je ne crois pas exagérer en disant que nous sommes encore bien éloignés de cette époque. *Forsitan posteris!*

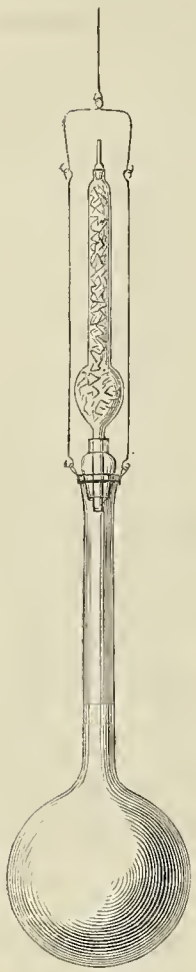
13° *Du moyen employé pour la détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de lithium.*

J'ai effectué la détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de lithium, par le moyen que j'ai indiqué à l'occasion de la trans-

[1] M. Dumas n'a pas publié les résultats analytiques sur lesquels il a basé ce nombre, du moins je n'ai pas pu les découvrir dans les publications de mon illustre maître.

formation du chlorure de potassium et de sodium. L'appareil dans lequel j'ai opéré cette transformation a été le même; pour la pesée du ballon, j'ai adapté, sur le goulot du flacon qui s'engage à frottement sur le col du ballon, un tube à chlorure de calcium comme l'indique la *figure* 21.

Fig. 21.



Cette précaution m'a paru nécessaire à cause de l'hygrométricité extrême de l'azotate de lithium. *Avant* et *après* l'expérience, j'ai déterminé le poids de ce tube à chlorure; de cette manière, j'ai pu connaître avec exactitude l'augmentation de poids du système, provenant de la rentrée de l'air plus ou moins humide pendant la pesée. Lorsque le tube à chlorure n'était point adapté au ballon, je l'enfermais dans un cylindre de verre fermé contenant une nacelle avec du chlorure de calcium.

Pour détacher de la grande nacelle de platine la dernière trace de chlorure de lithium qui y est pesé, j'ai eu recours à l'artifice dont je vais rendre compte. Le poids du ballon avec son tube à chlorure étant déterminé, j'ai introduit dans le ballon, à l'aide d'une pince de platine, la masse de chlorure de lithium qui s'est détachée de la nacelle de platine par une légère traction exercée sur ses parois latérales; j'ai attaché ensuite solidement celle-ci au moyen de fils minces de platine à l'extrémité d'un long tube de verre ouvert par les deux bouts, et je l'ai portée de cette manière dans le corps même du ballon. Après avoir renversé la nacelle dans le ballon, et avoir incliné le col de celui-ci vers 45°, j'ai mis le tube en communication avec une cornue renfermant de l'eau pure que j'ai portée immédiatement à l'ébullition. La vapeur en pénétrant dans le ballon a dissous le chlorure adhérent au platine, et la solution a découlé dans le corps du ballon; lorsque j'eus dégagé une quantité de vapeur suffisante pour être certain d'avoir opéré un lavage parfait de la nacelle, je la retirai du ballon avec le tube. J'ai placé alors le ballon dans l'étuve à air chaud, figurée page 126, j'ai engagé son col dans un cylindre de verre dur, et j'ai procédé à l'évaporation complète de la solution du chlorure de lithium.

Cette évaporation a été exécutée en maintenant la solution continuellement au-dessous de son point d'ébullition. Le chlorure étant amené à siccité complète, je l'ai dissous dans *cinq fois* et demi son poids d'acide azotique normal et pur, j'ai adapté le flacon à fond percé qui sert de bouchon au ballon, et enfin le tube à dégagement du bichlorure d'azotyle.

J'ai effectué le reste de l'opération d'une manière identique à celle que j'ai pratiquée pour la transformation des chlorures de potassium et de sodium en azotates. L'expérience se termine même beaucoup plus facilement, à cause de l'extrême fusibilité de l'azotate de lithium; aucun ballon ne s'est brisé lors de la solidification du sel et je n'ai perdu aucune opération.

J'ai constaté que l'azotate de lithium, fondu et chauffé à une température suffisante, jouit de la faculté d'attaquer le verre au même titre que les azotates de potassium et de sodium; je pense même qu'à température égale l'attaque se fait plus promptement par l'azotate lithique, mais je crois pouvoir affirmer que dans chacune des trois déterminations que j'ai faites il a conservé son poids intégral.

Après que la fusion de l'azotate a été terminée et que j'ai eu éliminé, par un courant d'air pur et sec, la dernière trace de vapeur d'acide azotique, j'ai laissé refroidir le ballon en contact avec un tube à chlorure de calcium. Quand il a été refroidi et nettoyé convenablement, j'y ai adapté le tube à chlorure avec lequel il doit être pesé, et j'ai suspendu tout le système à la balance.

La pesée terminée, j'ai examiné l'azotate de lithium formé; et, dans les trois expériences, je l'ai trouvé absolument incolore, mais, à l'état dissous, *bleuissant très-légèrement* le papier de tournesol. J'ai observé que l'azotate de lithium que l'on évapore avec un *excès d'acide azotique* dans une cornue de platine laisse un résidu qui, étant fondu, présente également une réaction très-légèrement alcaline au tournesol. J'ai du reste remarqué le même fait pour les azotates de potassium et de sodium les plus purs, qu'on fond dans un vase de platine. Pour le constater, il suffit de se servir d'un papier de tournesol préparé avec les soins convenables, ou de papiers préparés à l'aide de la matière colorante du dahlia.

Pour être certain de n'avoir perdu aucune trace de chlorure ou d'azotate de lithium, j'ai évaporé dans une capsule de porcelaine :

1. L'eau qui s'est volatilisée lors de l'évaporation jusqu'à siccité de la solution de chlorure de lithium; dans aucune des trois expériences, la capsule ne renfermait de trace pondérable de ce chlorure;

2. L'eau qui a servi à laver le bichlorure d'azotyle provenant de la transformation du chlorure en azotate;

3. L'acide azotique dilué provenant de l'évaporation de l'azotate qui a pris naissance.

Je vais faire connaître, avec toutes les autres données, le poids des résidus obtenus dans ces circonstances.

PREMIÈRE TRANSFORMATION DU CHLORURE DE LITHIUM EN AZOTATE.

Pesée du chlorure.

		gram.
1.	Le cylindre droit a été équilibré avec *deux cents* grammes sur chaque plateau, lorsqu'il renfermait la petite nacelle, dans le vide à $0^m,0005$	200,0000
2.	Différence de poids, dans le vide, entre la grande et la petite nacelle de platine	69,1280
3.	Le cylindre droit, contenant la grande nacelle de platine avec le chlorure de lithium, dans le vide à $0^m,0005$, est en équilibre avec.	107,8445
4.	Poids de l'air déplacé par les poids de platine soustraits du plateau pour rétablir l'équilibre rompu du chef du chlorure de lithium existant dans la nacelle.	0,0015

Pesée de l'azotate.

		gram.
1.	Poids du ballon plein d'air sec	487,0505
2.	— du ballon plein d'air sec et muni du tube à chlorure de calcium	548,9195
3.	— du tube à chlorure, avant l'opération.	61,8695
4.	— du ballon rempli d'air sec, avec l'azotate de lithium fondu; après quatre heures de refroidissement.	586,5575
5.	— du même ballon, le lendemain	586,5590
6.	— du ballon rempli d'air sec, l'azotate ayant été dissous dans l'acide azotique et le sel fondu une deuxième fois; après quatre heures de refroidissement	586,5585
7.	— du ballon précédent, le lendemain.	586,5400
8.	— du tube à chlorure, après l'opération.	61,8705
9.	— du résidu brunâtre de l'évaporation de l'acide azotique condensé, lors de la dessiccation de l'azotate.	0,0024

DEUXIÈME TRANSFORMATION DU CHLORURE EN AZOTATE DE LITHIUM.

Pesée du chlorure.

	gram.
1. Le cylindre droit, contenant la petite nacelle, a été équilibré avec une charge de	200,000
2. La différence, dans le vide, entre la petite et la grande nacelle est de	69,1280
3. Le cylindre droit, contenant la grande nacelle avec le chlorure de lithium, dans le vide, est en équilibre avec	100,0160
4. Poids de l'air déplacé par les poids de platine soustraits pour rétablir l'équilibre rompu par le chlorure de lithium existant dans la nacelle	0,0018

Pesée de l'azotate.

1. Poids du ballon plein d'air sec, avec le tube à chlorure de calcium.	548,9225
2. — du tube à chlorure, avant l'expérience	61,8720
3. — du ballon avec le tube à chlorure et l'azotate de lithium formé; après quatre heures de refroidissement. . . .	599,0665
4. — du ballon précédent, le lendemain.	599,0675
5. — du tube à chlorure, après l'expérience	61,8728
6. — du résidu brunâtre de l'évaporation de l'acide azotique condensé, lors de la dessiccation de l'azotate.	0,0045

TROISIÈME TRANSFORMATION DU CHLORURE EN AZOTATE DE LITHIUM.

Pesée du chlorure.

	gram.
1. Le cylindre droit, contenant la petite nacelle, a été équilibré avec une charge de.	200,0000
2. La différence, dans le vide, entre la petite et la grande nacelle [1] est de	69,1280
3. Le cylindre droit, contenant la grande nacelle avec le chlorure de lithium, dans le vide, est en équilibre avec.	96,7002

[1] Je me suis assuré, après la fin de la troisième expérience, que la différence est restée constante entre le poids, dans le vide, des nacelles dans lesquelles j'ai fondu à trois reprises successives du chlorure de lithium dans une atmosphère d'acide chlorhydrique. Le métal du reste était parfaitement pur.

4. Poids de l'air déplacé par les poids de platine soustraits pour rétablir l'équilibre rompu par le chlorure de lithium existant dans la nacelle . . . . . gram. 0,0020

Pesée de l'azotate.

1. Poids du ballon plein d'air sec, avec le tube à chlorure de calcium. 548,9250
2. — du tube à chlorure de calcium, avant la pesée du ballon. . 61,8745
3. — du ballon avec l'azotate de lithium dans l'air sec, et avec le tube à chlorure; après quatre heures de refroidissement 604,4580
4. — du même ballon, le lendemain 604,4595
5. — du tube à chlorure de calcium, après la pesée du ballon avec l'azotate 61,8750
6. — du résidu brunâtre provenant de l'évaporation de l'acide azotique condensé lors de la dessiccation de l'azotate. . . 0,0058
7. — du ballon, après la dernière expérience 487,0490

Les données de ces trois expériences conduisent aux poids et aux résultats suivants :

RAPPORT PROPORTIONNEL ENTRE LE CHLORURE ET L'AZOTATE DE LITHIUM.

NUMÉROS D'ORDRE.	POIDS apparent du chlorure de lithium.	POIDS réel du chlorure de lithium.	POIDS de l'azotate dans l'air.	POIDS de l'azotate réduit au vide.	100,000 de chlorure fournissent azotate de lithium.
	gram.	gram.	gram.	gram.	
I	23,0275	23,0260	37,4200	37,43756 (1)	162,588
II	30,8560	30,8542	50,1450	50,16835 (1)	162,600
III	34,1722	34,1700	55,5345	55,5605 (1)	162,598
				MOYENNE.	162,595

(1) Pour la réduction au vide de l'azotate de lithium j'ai fixé à 2,442 la pesanteur spécifique de ce sel, déterminée par M. Troost.

Avant de déduire les conséquences qui découlent de la détermination du rapport proportionnel trouvé entre les chlorures de potassium, de sodium,

de lithium, et les azotates correspondants, je vais exposer les résultats de deux nouvelles synthèses de l'azotate d'argent, que j'ai faites à l'occasion de mes synthèses complètes de l'iodure d'argent.

II. — De la transformation de l'argent en azotate.

14° *Nouvelles synthèses de l'azotate d'argent.*

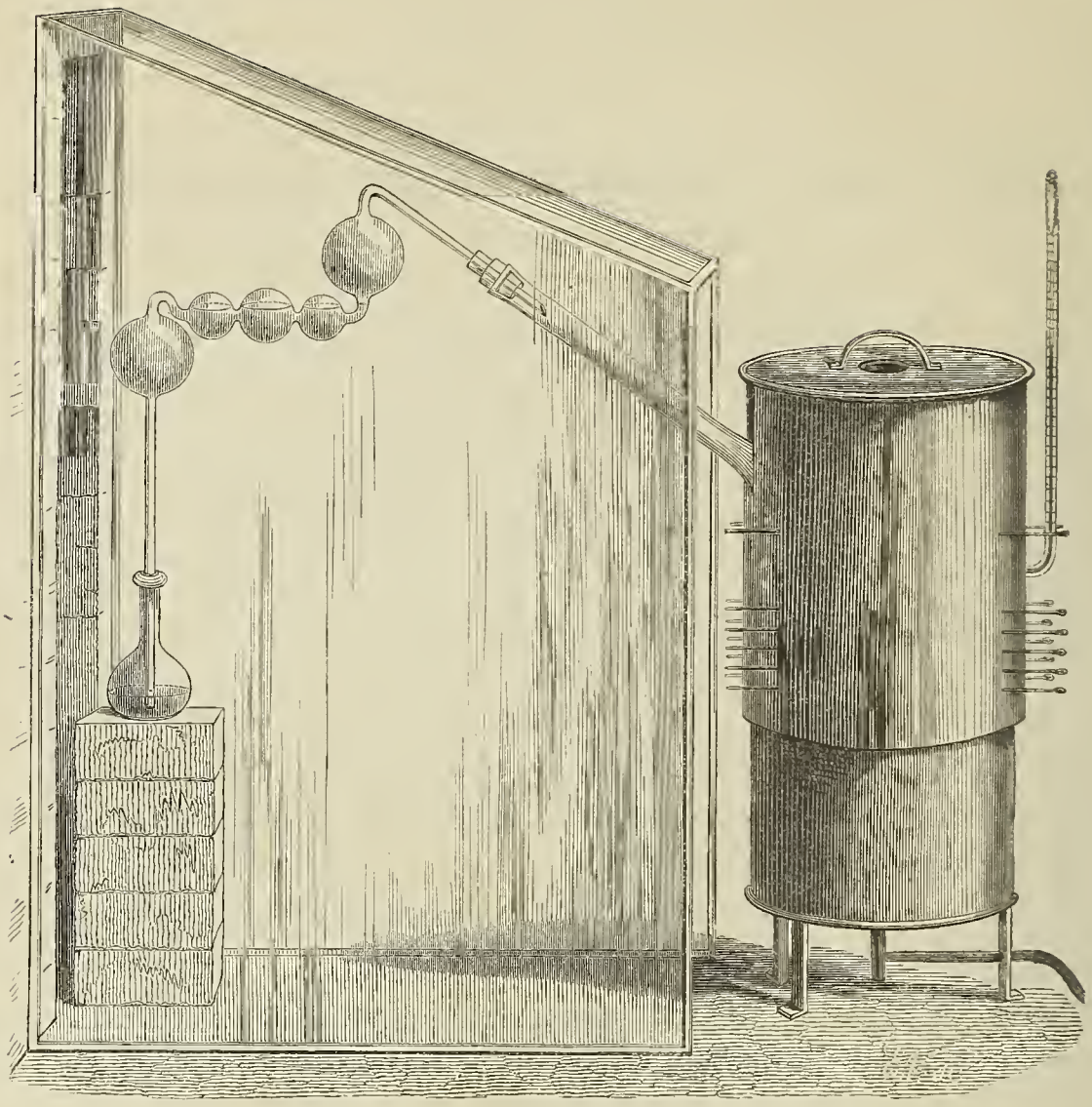
Parmi les synthèses de l'iodure d'argent consignées dans le Mémoire précédent, il y en a deux pour lesquelles j'ai été obligé de dissoudre dans l'acide azotique pur un poids relativement élevé de ce métal. J'ai cru de mon devoir de mettre cette nécessité à profit pour refaire de nouvelles synthèses de l'azotate d'argent, afin de pouvoir *vérifier* mes anciens résultats, et de déduire le poids atomique de l'azote, *tant de la synthèse même, que du rapport en poids de chlorure et d'azotate produits par une unité de poids d'argent.*

J'ai employé dans ce but l'argent le plus pur que j'ai pu me procurer en dehors du métal distillé. Je l'ai soigneusement affiné au gaz tonnant dans un creuset de chaux (du marbre), et, après l'affinage, je l'ai versé d'une assez grande hauteur dans de l'eau pure pour le transformer en grains à peu près sphériques. Une partie de cet argent a été distillée et le métal s'est volatilisé sans laisser dans la cavité de chaux la moindre trace de résidu visible à l'œil armé de la loupe. Son titre, déterminé en fonction de l'argent distillé, a été trouvé = 99,999; c'est-à-dire, du métal pur.

Avant de servir, il a été chauffé jusqu'au rouge en présence de l'air; on l'a placé à cet effet dans un creuset d'argent, et on en a laissé opérer le refroidissement à l'abri de l'air humide. Sa pesée a eu lieu à la balance moyenne; je garantis donc l'exactitude du poids total à $0^{gr},0002$ près.

J'ai effectué la dissolution du métal dans un appareil identique à celui que j'ai décrit pages 124 et suivantes de la notice consacrée à la synthèse de l'iodure d'argent. Je me borne donc à reproduire ici la *fig.* 8.

Fig. 22.

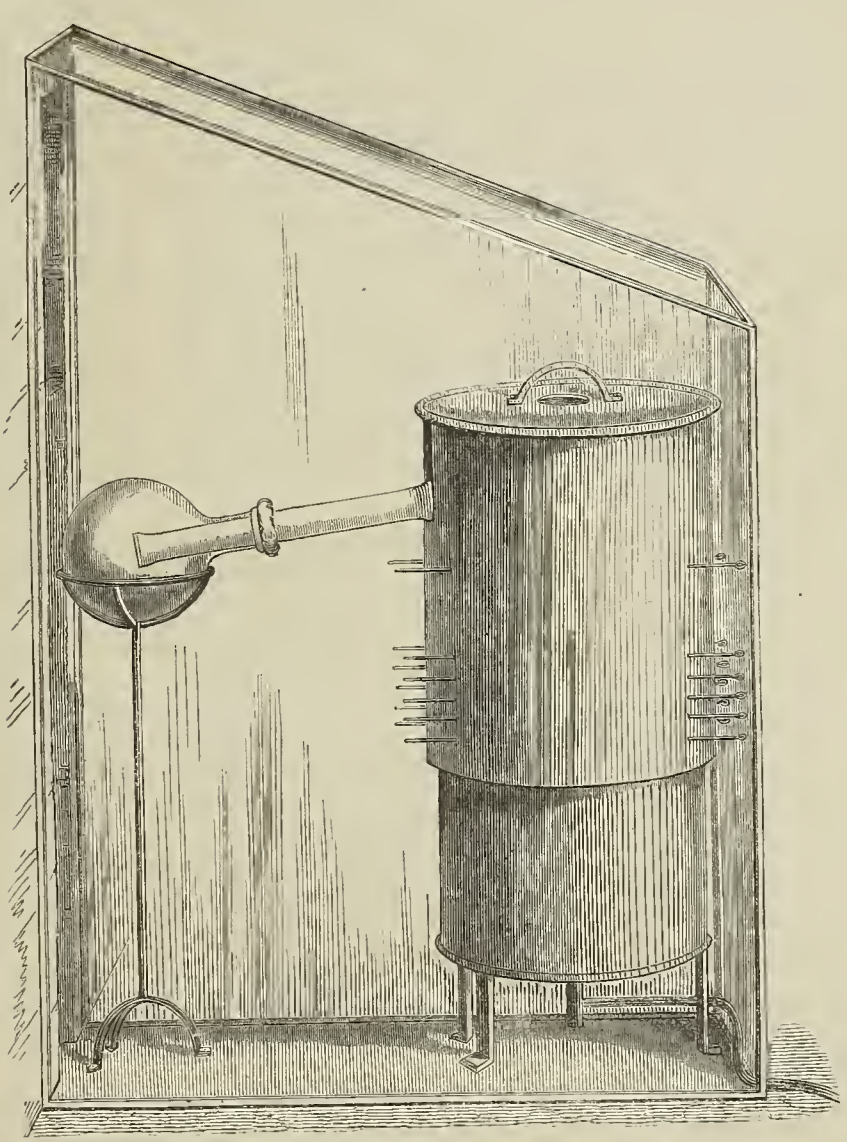


Chaque partie de l'appareil employé ayant déjà servi à plusieurs reprises, sans subir d'altération de leur poids sous l'influence de l'acide azotique, j'ai cru inutile de les peser séparément, comme j'ai l'habitude de le faire lorsque je me sers d'appareils qui n'ont pas encore subi l'épreuve de l'expérience.

L'acide azotique normal et pur, destiné à l'attaque du métal, a été préparé avec les plus grands soins; j'ai distillé dans une cornue de platine un *volume double* de celui que j'avais à employer. Il s'est volatilisé sans laisser trace de résidu. Je l'ai dilué d'eau condensée à l'aide d'un tube de platine, au point de l'amener à 1,200 de densité.

L'attaque du métal a duré *trente* heures dans la première synthèse, et *vingt-six* heures dans la seconde. Après la dissolution, l'eau acide contenue dans l'appareil à boules a été introduite dans le ballon, en imprimant, dans ce but, au tube un mouvement de rotation sur lui-même, et je me suis servi de l'eau de lavage versée dans la petite fiole de verre inattaquable, pour enlever à l'appareil à boules les traces de liquide argentifère qui auraient pu y être restées adhérentes; par surcroît de précaution, j'ai fait passer encore de l'eau pure par la fiole et l'appareil à boules, et tous ces liquides ont été joints à celui du ballon.

Fig. 23.



J'ai engagé alors *très-avant* le col du ballon dans un récipient de verre inattaquable par les acides; et, après avoir placé le corps du ballon sur une rondelle de tôle entourée d'un cylindre de même métal, placée dans l'étuve à air chaud, et avoir incliné le tout de manière à ce que le col du ballon fût tant soit peu au-dessous de l'horizontale, j'ai bien fixé le ballon et le cylindre. Pour empêcher l'introduction de l'air du laboratoire tenant des corpuscules en suspension, j'ai couvert de ouate l'espace annulaire laissé entre le col et le cylindre, que j'ai serré à l'aide de linge. Dans cet état, j'ai placé le système dans la cage de verre, comme le montre la *figure* 23.

J'ai procédé à l'évaporation de tout le liquide du ballon. Cette évaporation a été faite avec une lenteur telle, que l'*eau acide condensée ne contenait aucune trace d'argent entraînée.* Je me suis assuré de ce fait en volatilisant tout le liquide dans la grande cornue de platine, au chapiteau de laquelle j'avais adapté un récipient pour empêcher l'air ambiant de pénétrer librement dans le vase distillatoire. Lorsque l'azotate a été amené à siccité, j'ai séparé le cylindre et j'ai adapté au col du ballon le flacon percé et usé à l'émeri qui lui sert de bouchon; j'ai engagé dans l'ouverture de ce flacon un long tube de verre amenant jusqu'au fond du ballon de l'air séché complétement, après avoir été préalablement dépouillé de matières organiques par son passage à travers un tube de verre contenant de la tournure de cuivre grillée et chauffée au rouge.

J'ai élevé en même temps la température de l'azotate au point de produire un *commencement de fusion,* et j'ai continué le courant d'air sec jusqu'à ce que le gaz, en sortant du ballon, eût perdu la propriété de rougir le papier de tournesol *humecté.* Il m'a fallu *cinq heures* de courant pour réaliser ce résultat. Après avoir remplacé le long tube par un tube à ponce sulfurique, j'ai abandonné le tout au refroidissement lent.

L'azotate était parfaitement blanc, cristallin. Le ballon refroidi a été lavé extérieurement à l'eau, puis séché. Je l'ai surmonté enfin d'un tube à chlorure de calcium avec lequel je l'avais pesé plein d'air sec, et j'ai procédé à la détermination du poids du système après une attente, d'abord de *six* heures, puis de *vingt* heures.

J'ai soumis ensuite le sel à une chaleur suffisante pour le fondre, en pre-

nant soin de faire passer en même temps de l'air pur et sec. Le gaz sortant du ballon, au moment où la fusion s'est produite, a rougi très-faiblement le papier de tournesol humecté, mais au bout de quelques minutes ce phénomène a complétement cessé.

L'azotate fondu était absolument incolore; aucun corps insoluble n'y était en suspension, et les traces de silice que j'avais remarquées dans mes précédentes synthèses faisaient ici complétement défaut.

J'ai abandonné le sel au refroidissement dans le courant d'air sec et pur, et, après avoir de nouveau lavé et essuyé le ballon, je l'ai surmonté de son tube à chlorure, avec lequel je l'ai pesé une deuxième fois, d'abord après six heures, puis après vingt-quatre heures d'attente. L'azotate solidifié était blanc et rayonné.

Quoique j'eusse pris toutes les précautions possibles pour exclure l'air pendant l'évaporation à siccité de la solution acide d'azotate d'argent, j'ai voulu néanmoins déterminer directement l'influence exercée sur le poids du sel par les matières que l'air et l'acide peuvent amener. Dans ce but, j'ai repris, dans la première synthèse, l'azotate par une quantité d'acide azotique égale à celle que j'avais versée sur l'argent pour le dissoudre, et j'ai procédé à l'évaporation lente de la solution, dans des conditions absolument identiques à celles dans lesquelles je me suis placé lors de la première évaporation. L'acide azotique provenant de la condensation des vapeurs, évaporé jusqu'à siccité dans la grande cornue de platine, n'a laissé aucun résidu pondérable. Le sel, dans le ballon, a été chauffé de nouveau jusqu'à son point de fusion, et soumis à un courant d'air purifié et séché jusqu'à ce que l'air sortant de l'enceinte n'ait plus rougi le papier de tournesol humide.

Après le refroidissement, le lavage et la dessiccation du ballon, je l'ai pesé avec son tube à chlorure de calcium.

J'ai amené enfin le sel à l'état de fusion dans un courant lent d'air sec et pur, qui en a éliminé, comme dans la fusion précédente, des traces de vapeurs acides, qui ont cessé de se produire au bout de quelques minutes. Ce résultat atteint, j'ai abandonné l'azotate au refroidissement hors des atteintes de l'air humide, et ayant lavé et séché le ballon, je l'ai muni de son tube à chlorure et je l'ai pesé de nouveau. *Le poids final a été le même, dans la limite d'exactitude de la pesée d'un ballon de cette dimension.*

Comme l'azotate était destiné à être transformé en sulfate qui, à son tour, devait être converti en iodure, je n'ai pas pu en distraire une trace pour m'assurer si la solution aqueuse était neutre. Mais mes précédentes déterminations répondent suffisamment à cette question, et j'ose affirmer que l'azotate fondu dans les conditions où je me suis placé est plutôt *alcalin* qu'*acide*, comme c'est le cas pour les azotates de potassium, de sodium, de lithium fondus, et probablement pour les azotates de rubidium et de cæsium fondus.

Par ce qui précède on voit que, pour exécuter ces synthèses, j'ai pris toutes les précautions possibles, et cependant les résultats auxquels je suis arrivé sont identiques à ceux que j'ai observés en 1857 et en 1858.

Voici toutes les données de ces deux expériences :

Première synthèse de l'azotate d'argent.

		gram.
1.	Poids de l'argent, dans l'air.	136,2870
2.	— du ballon plein d'air sec, avec le témoin à chlorure de calcium	550,7547
3.	— du témoin à chlorure de calcium	63,7042
4.	— du ballon avec l'azotate chauffé à son point de fusion, dans un courant d'air pur, jusqu'à ce que l'air ne rougisse plus le papier de tournesol humide, et avec le témoin à chlorure	765,3670
5.	— du même système, le lendemain	765,3674
6.	— du ballon et du tube à chlorure, avec l'azotate fondu dans de l'air pur et sec, et maintenu dans le courant jusqu'à ce que l'air dégagé eût cessé de rougir le tournesol humide.	765,3543
7.	— du système précédent, le lendemain.	765,3548
8.	— du ballon et du tube à chlorure, avec l'azotate chauffé à son point de fusion dans un courant d'air pur, après avoir été dissous dans de l'acide azotique pur	765,3665
9.	— du ballon avec le témoin à chlorure et avec l'azotate fondu dans un courant d'air sec.	765,3565
10.	— du témoin à chlorure de calcium, après la dernière pesée.	63,7051

Deuxième synthèse de l'azotate d'argent.

		gram.
1.	Poids de l'argent, dans l'air.	82,3181
2.	— du ballon plein d'air sec, avec le témoin à chlorure de calcium	550,7560
3.	— du témoin à chlorure de calcium	63,7055
4.	— du ballon avec le témoin et l'azotate séché à son point de fusion, jusqu'à ce que l'air dégagé eût cessé de rougir le tournesol humide	680,5830
5.	— du ballon avec le témoin et l'azotate séché et *fondu* dans un courant d'air, jusqu'à ce que le gaz sortant ne rougît plus le papier de tournesol humide	680,5695

Ces données conduisent aux poids et aux résultats suivants :

SYNTHÈSES DE L'AZOTATE D'ARGENT.

Nos D'ORDRE.	POIDS de l'argent dans l'air.	POIDS de l'argent dans le vide.	POIDS de l'azotate d'argent desséché à son point de fusion : A dans l'air.	POIDS de l'azotate d'argent desséché à son point de fusion : B dans le vide.	POIDS de l'azotate d'argent fondu : A dans l'air.	POIDS de l'azotate d'argent fondu : B dans le vide.	AZOTATE D'ARGENT produit par 100,000 de métal : A d'après le poids du sel séché à son point de fusion.	AZOTATE D'ARGENT produit par 100,000 de métal : B d'après le poids du sel fondu.
	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.		
I[1] . . .	136,2870	136,2952	214,6122	214,6600	214,5987	214,6462	157,4964	157,488
II[1] . . .	82,3181	82,3231	129,6270	129,6555	129,6135	129,6420	157,4940	157,480
					Moyennes. . . .		157,4952	157,484

[1] Les poids employés étaient en platine.

En comparant le poids de l'azotate d'argent, séché à son point de fusion,

au poids de l'azotate fondu, on s'aperçoit que le premier est légèrement supérieur au second. Ces résultats numériques sont d'accord avec l'observation. J'ai remarqué, en effet, dans mes anciennes synthèses comme dans mes nouvelles, que le sel en fondant dégage des traces d'acide azotique. Le poids du composé, chauffé à son point de fusion, est supérieur de $\frac{1}{15748}$ à celui du sel fondu.

On doit donc prendre comme un *maximum* le poids de l'azotate séché à son point de fusion; et, eu égard à l'altérabilité extrême de ce sel sous l'influence des matières en suspension dans l'air, je ne doute aucun instant que le poids du composé, après sa fusion, ne doive être considéré comme un *minimum*.

Parmi les synthèses inscrites dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, il y en a qui coïncident exactement avec la moyenne qui résulte de ces expériences. La moyenne elle-même de mes anciennes synthèses ne diffère que de $\frac{1}{15748}$ de celle qui dérive de mes nouvelles déterminations.

C'est contre mes synthèses de l'azotate d'argent qu'ont été dirigées les seules objections de faits qu'on a trouvé à formuler contre les données numériques consignées dans mon travail sur les poids atomiques. Je le conçois, parce que les résultats de ces déterminations sont absolument inconciliables avec l'hypothèse de Prout. Du reste, je suis pleinement convaincu que les chimistes qui voudront répéter cette synthèse fondamentale, au point de vue du poids atomique de l'argent et de l'azote, arriveront aux mêmes résultats, du moment qu'ils prendront les précautions nécessaires pour empêcher l'altération de l'azotate d'argent produit.

CONCLUSIONS.

Pour terminer, je vais exposer les conséquences qui découlent des déterminations du rapport proportionnel entre les chlorures de potassium, de sodium, de lithium et leur azotate correspondant, et entre l'argent et l'azotate de ce métal. Dans ce but, je vais chercher le poids moléculaire de chacun des azotates produits dans les expériences, en supposant successivement, d'après l'hypothèse de Prout :

Le potassium	= 39,000
Le —	= 39,125
Le —	= 39,250
Le sodium	= 23,000
Le lithium	= 7,000
L'argent	= 108,000
Le chlore	= 35,500
L'azote	= 14,000
Et l'oxygène	= 16,000

Je déduirai des poids moléculaires trouvés la différence qui existe entre eux et le poids moléculaire des chlorures, calculés d'après l'hypothèse de Prout. Si cette hypothèse est exacte, cette différence doit être égale à 26,50, comme je l'ai établi dans l'introduction de ce travail. Je chercherai ensuite la valeur des poids moléculaires de ces azotates, en combinant le résultat des transformations des chlorures en azotates, avec le poids moléculaire des chlorures qui dérivent des déterminations expérimentales, consignées dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques* et dans le Mémoire actuel.

A. *Chlorure et azotate de potassium.* — Des *sept* déterminations du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de potassium, il résulte

que 100,000 KC*h* ont produit en moyenne 135,6423, avec un écart moyen de 0,0085, en supposant :

K = 39,000;	100,000 KC*h*	donnent	135,570,	différence avec l'expérience. . .	0,0725
K = 39,125;	100,000 KC*h*	id.	135,540,	id. id. . . .	0,1525
K = 39,250;	100,000 KC*h*	id.	135,451,	id. id. . . .	0,1915

Si l'on déduit, du poids de l'azotate de potassium produit par l'expérience, le poids moléculaire de ce sel, et qu'on retranche ensuite de la valeur obtenue le poids moléculaire du chlorure, on arrive aux résultats suivants :

K = 39,000;	$KAzO^3$ = 101,055	— (KC*h*)	74,500	= 26,555
K = 39,125;	$KAzO^3$ = 101,215	— (KC*h*)	74,625	= 26,588
K = 39,250;	$KAzO^3$ = 101,391	— (KC*h*)	74,750	= 26,644

M. Dumas, qui le premier a porté le poids atomique du potassium à 39,000, a reconnu plus tard que ce chiffre est trop faible [1]. D'après lui, il doit être ou 39,125 ou 39,250. Je vais donc écarter le premier chiffre, qui, en effet, est inconciliable avec mes déterminations du rapport proportionnel entre le chlorure de ce métal et l'argent, et ne raisonner que sur les deux derniers poids atomiques.

Si je compare l'excédant d'azotate produit par 100,000 de chlorure, je trouve que, K étant 39,125, la différence entre le calcul et l'expérience est *seize* fois plus considérable que *l'écart moyen* qui existe dans la valeur de mes déterminations. Si je prends K = 39,25 la différence est *vingt-deux fois et demie* plus considérable que l'écart moyen. De plus, dans les deux cas, la différence excède le chiffre 26,50 de 0,09 à 0,10.

En admettant donc, par *hypothèse*, que les poids atomiques du potassium et du chlore soient représentés par des sous-multiples de l'hydrogène, il est absolument impossible que l'azote soit 14,00.

Si je substitue maintenant à ces valeurs hypothétiques les poids atomiques qui dérivent de mes travaux, je trouve que le poids moléculaire de l'azotate de potassium doit être égal à 101,176, et que la constante doit être égale à 26,586.

[1] *Correspondance privée.*

B. *Chlorure et azotate de sodium.* — Des *cinq* déterminations du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de sodium il résulte que :

100,000 $NaCh$ ont produit en moyenne 145,4570 $NaAzO^3$ avec un écart moyen de 0,0125
$Na = 23,00$: 100,000 $NaCh$ donnent 145,2990 $NaAzO^3$, différence. 0,1556

Si l'on déduit, du poids de l'azotate de sodium produit par l'expérience, le poids moléculaire de ce sel, et qu'on retranche ensuite de la valeur obtenue le poids moléculaire du chlorure, on obtient le résultat suivant :

$$Na = 23,00; \quad NaAzO^3 = 85,091 - (NaCh)\ 58,50 = 26,591$$

En comparant le poids de l'azotate produit à celui qui aurait dû prendre naissance, je trouve une différence qui est *douze* fois plus grande que l'écart moyen qui existe entre mes expériences, et je constate que la différence entre le poids moléculaire de l'azotate et celui du chlorure excède de 0,091 la constante 26,50.

C. *Chlorure et azotate de lithium.* — Des *trois* déterminations du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de lithium, il résulte que :

100,000 $LiCh$ produisent en moyenne 162,595 $LiAzO^3$ avec un écart moyen de 0,006
$Li = 7,00$: 100,000 $LiCh$ donnent 162,552 $LiAzO^3$, différence 0,245

Si l'on déduit, du poids de l'azotate de lithium produit par l'expérience, le poids moléculaire de ce sel, et qu'on retranche ensuite de la valeur obtenue le poids moléculaire du chlorure, on arrive au résultat suivant :

$$Li = 7,00; \quad LiAzO^3 = 69,103 - (LiCh)\ 42,500 = 26,603.$$

La différence entre le poids de l'azotate de lithium produit en réalité et le poids de l'azotate qui devrait se produire d'après l'hypothèse est *quarante* fois plus considérable que l'écart moyen que j'ai observé dans les expériences. La constante dépasse d'un *dixième* le chiffre calculé :

En supposant $Li = 7,022$ comme je l'ai trouvé, dans ce cas :
$LiAzO^3 = 69,068 - (LiCh) = 42,479 = 26,5894.$

D. *Synthèse de l'azotate d'argent. Rapport proportionnel entre le chlorure de sodium et l'argent.* — Les nouvelles synthèses de l'azotate d'argent ont démontré que :

100,000 Ag produisent en moyenne 157,484 $AgAzO^3$ avec un écart moyen de 0,004
d'où $Ag = 108$, $AgAzO^3 = 170,082$ et $Az = 14,082$
$Ag = 107,93$ $AgAzO^3 = 169,972$ et $Az = 14,042$.

Dans mes *Recherches sur les rapports réciproques de poids atomiques* j'ai trouvé que :

100,000 Ag produisent 132,850 de chlorure,

Si je suppose $Ag = 108$ et $Ch = 35,5$ d'après l'hypothèse de Prout ;

100,000 $AgCh$ = 118,542 $AgAzO^3$.

d'où l'on déduit que :

$AgAzO^3$ devient 170,107 — ($AgCh$) 143,5 = 26,607.

La constante dépasse d'un dixième d'atome le chiffre calculé.

Si je prends $Ag = 107,93$ et $Ch = 35,457$ qui dérivent de l'expérience, alors :

$AgAzO^3 = 169,974$ — ($AgCh$) 143,587 = 26,587.

Parmi les faits consignés dans le *Mémoire sur les lois des proportions chimiques*, il se trouve un très-grand nombre de déterminations nouvelles du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure de sodium, exécutées dans le but de rechercher le *titre de l'argent de différentes provenances.* Ces expériences ont été effectuées avec un soin et une exactitude qu'il me serait impossible de dépasser. En prenant l'argent obtenu par l'électrolyse du cyanure d'argent et d'ammonium pur, et affiné encore au gaz *tonnant*, ou en partant de l'argent distillé, j'ai trouvé que 100,000 d'argent exigent entre 54,2065 et 54,2075 de chlorure de sodium. La moyenne de mes anciennes déterminations est 54,2078; mais j'ai constaté par deux essais directs que le chlorure employé à la détermination du titre de l'argent ren-

ferme entre 0,000047 et 0,000050 de silice mêlée de silicate de sodium; son titre moyen est donc 99,99515. Les 54,2070 sont donc ramenés à 54,204 de chlorure réel.

Du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de sodium, il résulte que le poids moléculaire de ce chlorure ne doit être ni inférieur à 58,500, ni supérieur à 58,502. Si je déduis le poids atomique de l'argent de cette valeur et du rapport proportionnel entre ce métal et le chlorure alcalin, je trouve $Ag = 107,9256$.

Inversement, si je prends $Ag = 107,93$, valeur qui dérive de l'ensemble des travaux de M. Marignac et des miens, je trouve pour poids moléculaire du chlorure sodique : 58,502.

Ce contrôle indirect me donne le droit de fixer le poids moléculaire de l'azotate d'argent à 169,974, et dans ce cas la différence entre ce poids moléculaire et le poids moléculaire du chlorure de ce métal doit être nécessairement égale à 26,587.

Des poids atomiques qui dérivent des précédentes recherches.

En ce qui concerne l'azote :

En récapitulant la valeur de la constante trouvée par l'*expérience* entre le poids moléculaire de l'azotate et celui du chlorure des quatre métaux que je viens d'indiquer, et en déduisant de cette valeur le poids atomique des éléments qui sont intervenus, j'arrive aux résultats partiels et généraux suivants :

La différence entre le poids moléculaire du chlorure et de l'azotate de potassium est	26,586
La différence entre le poids moléculaire du chlorure et de l'azotate de sodium est	26,591
La différence entre le poids moléculaire du chlorure et de l'azotate de lithium est	26,589
La différence entre le poids moléculaire du chlorure et de l'azotate d'argent est	26,587
MOYENNE	26,5882
Différence d'après l'hypothèse de Prout	26,5000
DIFFÉRENCE. . . .	0,0882

Ce chiffre se compose de la somme des différences existant entre la valeur expérimentale des poids atomiques du chlore et de l'azote, et la valeur calculée pour ces deux corps d'après l'hypothèse.

Si je prends $Ch = 35{,}457$, la différence entre le poids expérimental et le poids calculé du chlore est 0,043, le poids atomique de l'azote déduit de ces *quatre* différences devient donc :

1°	Du rapport de	KCh à $KAzO^3$,	$Az = 14{,}045$
2°	—	de $NaCh$ à $NaAzO^3$,	$Az = 14{,}048$
3°	—	de $LiCh$ à $LiAzO^3$,	$Az = 14{,}046$
4°	—	de $AgCh$ à $AgAzO^3$,	$Az = 14{,}044$
		Moyenne.	$Az = 14{,}045$

Le poids atomique de l'azote, déduit du rapport en poids du chlorure et de l'azotate déterminé, en faisant intervenir *quatre* métaux, dont *trois* sont les mieux connus parmi tous les éléments existant, est donc 14,045 avec un écart moyen qui ne dépasse sa valeur que de $\frac{1}{4000}$.

Mes anciennes synthèses de l'azotate d'argent m'ont conduit au chiffre moyen de	14,041
Mes nouvelles synthèses de cet azotate donnent ($Ag = 107{,}93$) en moyenne	14,042
Moyenne générale. . . .	14,044

En soumettant ces données au calcul des probabilités, on arrive aux résultats suivants :

La moyenne générale étant.	14,044
La somme des carrés des erreurs est	0,000054

Ce qui donne :

Erreur moyenne d'une observation isolée	0,002601685
— probable —	0,001758854
— moyenne du résultat moyen	0,001062154
— probable —	0,0007180485
Mesure de précision du résultat moyen, ...	$H = 665{,}7425$

La probabilité que la moyenne 14,044 soit en erreur de x sur la valeur véritable du résultat étant donnée par la formule :

$$y = \frac{H}{\sqrt{\pi}} e^{-H^2x^2}$$

π étant le rapport de la circonférence au diamètre, et e la base des logarithmes népériens;

D'après cela, la probabilité que cette véritable valeur tombe à
14,040, est . . . . . $y = 0{,}51278$
Pour 14,030, on a. . . . . $y = 0{,}0\ldots0$ (55 zéros) 701
Pour 14,020, on a. . . . . $y = 0{,}0\ldots0$ (108 zéros) 505
Pour 14,010, on a. . . . . $y = 0{,}0\ldots0$ (219 zéros) 115
Pour 14,000, on a. . . . . $y = 0{,}0\ldots0$ (570 zéros) 879

La valeur de 14,040 est donc possible, puisqu'elle a en sa faveur trois chances sur dix; mais la valeur 14,030 est déjà excessivement improbable, et les autres peuvent être considérées comme matériellement impossibles.

Ces recherches établissent à suffisance de preuve que la valeur 14,00, admise actuellement par presque tous les chimistes comme représentant le poids atomique de l'azote, l'oxygène étant, par hypothèse = 16,00, est inexacte; le chiffre 14,00 est en erreur de $\frac{1}{350}$.

En ce qui concerne le chlore :

De l'ensemble des transformations des chlorures en azotates, il découle que le poids atomique du chlore doit être compris entre 35,455 et 35,460. Ces transformations confirment donc la moyenne 35,457 résultant de l'ensemble des travaux de M. Penny, de M. Marignac, et de mes propres essais exposés dans les *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques* et dans mon travail actuel.

En ce qui concerne le potassium, le sodium, le lithium, l'argent :

Ces déterminations prouvent que :

La valeur du potassium est comprise entre . . . . . 39,150 et 39,155
La valeur du sodium id. . . . . 23,042 et 23,045
La valeur du lithium id. . . . . 7,020 et 7,024
La valeur de l'argent id. . . . . 107,9256 et 107,930

Dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, j'ai fixé le poids atomique du potassium à		39,150
Dans le même travail, j'ai trouvé pour le sodium		23,046
(C'est par erreur que j'ai donné 23,05, comme il est facile de le constater en vérifiant les calculs.)		
Dans le présent Mémoire je suis arrivé, par les déterminations du rapport proportionnel entre le chlorure de lithium et l'argent, à .	$Li =$	7,022
Enfin, de l'ensemble des travaux sur les composés du chlore, du brome, de l'iode et du soufre avec l'argent, j'ai déduit. . . .	$Ag =$	107,930

Tous ces chiffres se confondent évidemment avec les précédents, ou plutôt ils sont complétement identiques. Il ne peut rester de doute sur leur exactitude dans la limite à laquelle il est possible d'atteindre par nos moyens actuels d'investigation.

Il me reste, pour terminer ce Mémoire, à communiquer des travaux, faits sur les déterminations du rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent, travaux entrepris déjà avant la publication de mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, dans le but de contrôler la valeur que j'ai trouvée pour le potassium.

15° *Détermination du rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent.*

Avant la publication de mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, j'avais déterminé à plusieurs reprises le rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent; j'avais entrepris ces recherches dans le but de contrôler les travaux que je venais d'accomplir sur le chlorure et le chlorate de potassium. Je n'ai point livré ces déterminations à la publicité, parce qu'il me manquait encore le poids atomique du brome, qui en est le complément indispensable. Depuis cette époque, j'ai eu l'occasion de reprendre un grand nombre de fois ces recherches; je vais réunir ici tous les résultats auxquels je suis parvenu.

Les différents échantillons de bromure de potassium sur lesquels j'ai opéré, proviennent tous, sauf un, du bromate de ce métal. Mais le sel employé pour le produire a été préparé dans des conditions très-variées.

Lorsque j'ai entrepris mes travaux sur le bromure, j'étais sous l'influence d'illusions que l'expérience est venue détruire plus tard. Je croyais que la voie de la cristallisation répétée était capable de fournir les sels des métaux alcalins complétement dépouillés de silice. Je pensais également, avec la plupart des chimistes, que le chlorate et le bromate de potassium purifiés, comme je l'ai exposé dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des poids atomiques*, peuvent être ramenés par l'action de la chaleur en chlorure, bromure et en oxygène, sans qu'une trace de chlore ou de brome devienne libre. Une minutieuse investigation m'a complétement détrompé à cet égard; je l'ai dit, du reste, dans l'introduction de mon travail *Sur l'invariabilité des rapports en poids des éléments formant les combinaisons chimiques.*

En soumettant le bromate de potassium purifié, autant qu'il a été en mon pouvoir de le faire, à l'action d'une chaleur capable de provoquer un dégagement très-lent d'oxygène, on parvient, en prolongeant suffisamment l'expérience, à éliminer les trois quarts environ de la quantité totale de l'oxygène qu'il peut fournir. L'oxygène, ainsi dégagé, m'a paru absolument dépouillé de brome; mais, arrivée à ce moment, la décomposition s'arrête, et pour qu'elle reprenne, il faut de toute nécessité qu'on élève considérablement la température. Or, quelque soin que l'on prenne dans l'application de la chaleur, il survient un moment où certaines parties de la masse saline s'échauffent spontanément, parviennent parfois jusqu'à l'incandescence; il se produit alors une légère déflagration avec dégagement très-rapide d'oxygène qui est mêlé de brome. On constate même ce fait à la simple vue, car alors l'atmosphère du vase dans lequel la réaction s'accomplit est légèrement teintée en jaune par la vapeur de brome, et l'oxygène en présente l'odeur caractéristique. Le fait de la déflagration est indiqué par les chimistes qui se sont occupés de la décomposition du bromate, et notamment par MM. Rammelsberg et Marignac, mais la production du brome n'est, à ma connaissance, signalée nulle part.

Ayant eu à ma disposition une grande quantité de bromure de potassium pur, provenant de la décomposition du bromate, j'ai essayé si, en mélangeant neuf dixièmes de ce composé avec un dixième de bromate, je ne parviendrais pas à décomposer ce sel sans mettre du brome en liberté. *Toutes mes*

tentatives sont restées vaines. Lorsque la température du mélange eut atteint le degré auquel j'ai vu l'espèce de déflagration se produire en opérant avec le bromate seul, ce sel, mêlé intimement de bromure, a fourni de l'oxygène et du brome à la fois.

Eu égard au poids du bromate soumis à l'expérience, la quantité de brome qui prend ainsi naissance est extraordinairement petite; mais je le répète, la constance de sa production est indubitable. La conséquence nécessaire de ce fait est que le bromure de potassium doit renfermer une quantité proportionnelle de peroxyde de ce métal.

Lorsqu'on emploie, pour la détermination du rapport moléculaire, du bromure obtenu par l'action directe de la chaleur sur le bromate, le résultat peut donc être affecté d'une double cause d'erreur : l'une due à l'existence de traces de silice, l'autre à la présence de traces de peroxyde de potassium. Quelques-uns des résultats consignés plus bas sont probablement en défaut par ces sources d'erreurs. Lorsque j'en ai été prévenu, j'ai tout fait pour m'en mettre à l'abri. Pour une bonne moitié de mes déterminations, je crois avoir éliminé l'une d'elles, la présence du peroxyde de potassium; mais j'ai la certitude de ne pas avoir pu opérer la séparation absolue de la silice d'un seul des nombreux échantillons de bromure que j'ai soumis à l'expérience.

Ces explications préliminaires données, il me reste maintenant à exposer brièvement les moyens employés pour me procurer les différents bromures qui ont servi aux déterminations.

Bromure du bromate de potassium obtenu par l'action du chlore sur un mélange de bromure et d'hydrate de potassium.

Dans la notice intitulée : *Nouvelles synthèses du bromure d'argent*, insérée dans le Mémoire précédent, est exposée la méthode que j'ai suivie pour me procurer du bromate de potassium par l'action du chlore sur un mélange d'hydrate de potassium et de bromure, dépouillé préalablement d'iode. La majeure partie des échantillons de bromure provenait du bromate préparé par cette voie, soit que j'aie préparé moi-même ce sel en opérant

à la fois sur un kilogramme de bromure purifié, soit que je me sois servi du sel, obtenu en fabrique, sous ma direction, en transformant à deux reprises *vingt kilogrammes* de bromure en bromate. A l'occasion de la préparation du brome pur, je suis entré dans suffisamment de détails, au sujet de cette transformation et de la purification du bromate, pour que je puisse me dispenser d'y revenir ici. Je crois pouvoir me borner à indiquer les moyens auxquels j'ai eu recours pour ramener ce sel à l'état de bromure, aussi pur que possible.

Du bromate de potassium, produit *en présence d'un excès de brome*, après avoir cristallisé quatre fois, pour le dépouiller de la dernière trace de chlorure, fut ramené dans un vase de porcelaine [1], à l'état de bromure, à l'aide d'une chaleur convenablement ménagée. Après le refroidissement, le bromure fut repris par de l'eau, et la solution fut mêlée de bromure d'ammonium, préparé à l'aide du brome extrait d'une partie du bromure de potassium. Le tout fut évaporé jusqu'à siccité, et chauffé jusqu'à ce que le bromure d'ammonium fût complétement volatilisé; ce qui ne s'obtient qu'à l'aide d'une température très-élevée et longtemps continuée. Le bromure a été soumis ensuite à la fusion, dans un double creuset de platine. J'ai enlevé au composé fondu tous les points brillants qui y nagaient, à l'aide d'une pelotte de fils très-fins de platine attachée à une tige de ce même métal. Après un refroidissement suffisant pour solidifier le tiers environ de la masse, j'ai décanté dans une capsule de platine le liquide au travers des cristaux formés.

Le bromure était incolore, transparent et dépourvu de toute propriété hygrométrique. Sa solution était tout à fait neutre au tournesol, mais elle manquait d'une limpidité absolue. Abandonnée pendant quelques jours au repos, elle a fini par déposer des traces impondérables de silice.

$5^{gr},6286$ [2] de ce bromure représentant $5^{gr},6310$ supposés pesés dans le

[1] Un vase de platine est attaqué avec formation de bromoplatinate de potassium.

[2] La pesée du bromure a été faite dans un tube bouché par un bout et fermé par l'autre bout à l'aide d'un bouchon rodé à l'émeri et percé d'un petit trou. Avant la pesée, le bromure a été chauffé près du rouge sombre. La quantité d'argent pesée a été calculée en prenant $Br = 80,00$; $K = 39,00$ et $Ag = 108,00$, d'après l'hypothèse de Prout. Le mode de détermination que j'ai suivi est le même que celui indiqué dans la notice sur le *Rapport proportionnel entre l'argent et les chlorures de potassium, de sodium, d'ammonium*, insérée dans mes *Recherches*

vide, ont été introduits dans une solution nitrique de $5^{gr},1102$ d'argent, représentant $5^{gr},1105$ dans le vide. Après la double décomposition et l'éclaircissement du liquide, il est resté $0^{gr},0082$ d'argent non précipité.

$10^{gr},3194$ du même bromure, ou $10^{gr},3238$ dans le vide, ont été introduits dans une solution azotique de $9^{gr},3690$ d'argent, représentant $9^{gr},3695$ dans le vide. Après la double décomposition, il est resté dans le liquide $0^{gr},0150$ d'argent, d'où

$$1^{o}\ Ag : KBr :: 100,000 : 110,561;$$
$$2^{o}\ Ag : KBr :: 100,000 : 110,560.$$

Le restant du bromure a été repris par de l'eau; la solution, après avoir séjourné assez longtemps pour déposer les traces de silice qu'elle contenait, a été filtrée au travers de la mousse de platine. Après un nouveau repos de vingt-quatre heures, elle a été décantée. Une partie de cette solution a été évaporée jusqu'à siccité, et le résidu a été fondu dans une grande nacelle de platine placée dans un tube de porcelaine chauffé au rouge. Pendant la fusion, un courant lent d'azote pur et sec traversait le tube.

$10^{gr},0712$ de ce bromure, représentant $10^{gr},0755$ dans le vide, ont été introduits dans une solution azotique de $9^{gr},1436$ d'argent, représentant $9^{gr},1441$ de ce métal dans le vide. Après l'éclaircissement il est resté dans le liquide $0^{gr},0145$ d'argent, d'où

$$3^{o}\ Ag : KBr :: 100,000 : 110,560.$$

J'ai évaporé jusqu'à pellicule le restant de la solution décantée. Le sel cristallisé par refroidissement a été redissous à trois reprises différentes; une partie de chaque cristallisation a été fondue à part dans une atmosphère

sur les rapports réciproques des poids atomiques. La couleur jaunâtre du bromure d'argent rend l'opération encore plus facile à exécuter que pour les chlorures. Seulement, à cause de l'altérabilité extrême du bromure d'argent sous l'influence de la lumière, on doit prendre des précautions exceptionnelles. Pour ce motif, les vases renfermant l'essai étaient entourés de toiles ou de drap noir; pendant la titration, il n'y avait de libre que la section du liquide éclairée par le faisceau de lumière jaune, émané de la sphère contenue dans l'appareil décrit et figuré dans mon travail : *Sur la constance des combinaisons chimiques.*

d'azote et dans la grande nacelle de platine. J'ai opéré toutes ces fusions au sein de l'azote, pour me mettre à l'abri de l'attaque du platine par le bromure alcalin et l'oxygène de l'air. *Je me suis convaincu plus tard que cette précaution est inutile; le bromure n'attaque le platine qu'autant qu'il renferme du bromate de potassium.*

10^{gr},3475 du bromure cristallisé *une fois*, représentant 10^{gr},3519 pesés dans le vide, ont été introduits dans une solution nitrique de 9^{gr},3945 d'argent, représentant 9^{gr},3950 dans le vide. Après la double décomposition il est resté 0^{gr},0134 d'argent dissous, d'où

4° Ag : KBr : : 100,000 : 110,542.

14^{gr},8739 de bromure cristallisé *deux fois*, représentant 14^{gr},8803 dans le vide, ont été versés dans une solution nitrique de 13^{gr},5031 d'argent, représentant 13^{gr},5049 d'argent dans le vide; après la double décomposition, ils ont laissé 0^{gr},0199 d'argent dissous, d'où

5° Ag : KBr : : 100,000 : 110,546.

25^{gr}1036 de bromure cristallisé *trois fois*, représentant 25^{gr},11427 dans le vide, ont été versés dans une solution azotique de 22^{gr},7908 d'argent, représentant 22^{gr},922 dans le vide; ils ont laissé 0^{gr},0310 d'argent non précipité, d'où

6° Ag : KBr : : 100,000 : 110,558.

L'influence de la solution et de la cristallisation est manifeste; il reste dans l'eau-mère une matière qui élève le rapport proportionnel du bromure.

Les déterminations qui précèdent étaient faites depuis près de deux années, lorsque j'ai exécuté les expériences dont il me reste à rendre compte.

Du bromate cristallisé *cinq fois*, et dont la majeure partie a servi à la préparation du brome destiné aux synthèses complètes du bromure d'argent, n^{os} I et II, page 170, a été décomposé dans un vase de porcelaine avec toutes les précautions imaginables pour empêcher autant que possible la perte du brome. Le bromure produit, complétement incolore, a été fondu en partie

dans un creuset de porcelaine vernie de Berlin, et employé tel quel pour la détermination du rapport proportionnel. Voici le résultat qu'il a fourni :

$7^{gr},4686$ de bromure, représentant $7^{gr},4718$ dans le vide, ont été introduits dans une solution azotique de $6^{gr},78071$ d'argent, représentant $6^{gr},78113$ de ce métal dans le vide. Après la double décomposition, ils ont laissé $0^{gr},01075$ d'argent dissous, d'où

$$7^{o}\quad Ag : KBr :: 100{,}000 : 110{,}560.$$

Le restant a été dissous dans de l'eau pure, et la solution additionnée de bromure d'ammonium a été évaporée à siccité; le résidu a été calciné jusqu'à volatilisation complète du bromure d'ammonium. Le bromure alcalin a été repris par de l'eau; la solution qui manquait de limpidité a été filtrée à travers un tampon serré de mousse de platine fortement chauffée. Après vingt-quatre heures de repos, le liquide filtré a été décanté et évaporé jusqu'à pellicule. La solution, brusquement refroidie sous l'influence d'une agitation continuelle, a fourni un bromure sous forme de poussière cristalline, qui a été lavé à l'eau glacée. La poudre cristalline, absolument incolore, a été séchée à l'étuve, puis chauffée à son point de fusion dans un vase de platine.

$15^{gr},039$ de ce bromure, représentant $15^{gr},0454$ dans le vide, ont été introduits dans une solution azotique de $13^{gr},65376$ d'argent, représentant $13^{gr},6546$ de ce métal dans le vide. Après la double décomposition, le liquide contenait $0^{gr},0186$ d'argent dissous, d'où

$$8^{o}\quad Ag : KBr :: 100{,}000 : 110{,}536.$$

Les eaux-mères et les eaux de lavages du bromure précédent ont été mêlées et évaporées jusqu'à siccité, sous l'influence d'une agitation incessante. Une partie du résidu pulvérulent a été introduite dans un tube de verre dur de Bohême, effilé à un bout, muni d'un bouchon rodé à l'autre bout, et dont le poids avait été exactement déterminé. Ce tube a été placé dans une gaîne de tôle remplie de magnésie fortement calcinée. Lorsque la gaîne a été chauffée au rouge sombre, j'ai fait passer lentement, sur le bromure, de la vapeur de brome pur, en volatilisant à cet effet du brome contenu dans une

ampoule placée dans une autre partie du tube. Tout le brome étant dégagé, j'ai laissé refroidir la gaîne vers 150 à 200°, et j'ai fait passer un courant d'air sec et pur jusqu'à ce que toute la vapeur de brome fût éliminée.

Le bromure ainsi traité a été pesé dans le tube même. Dans ce but, j'ai déterminé l'augmentation du poids du tube, après l'avoir lavé extérieurement à l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, pour en détacher les traces de magnésie adhérente. L'augmentation de poids a été de $21^{gr},6876$, représentant $21^{gr},6969$ de bromure supposé pesé dans le vide. J'ai engagé la pointe effilée du tube dans le goulot d'un flacon bouché à l'émeri, et contenant déjà une solution azotique de $19^{gr},6902$ d'argent, représentant $19^{gr},6914$ de ce métal dans le vide. A l'aide de l'eau pure que j'ai successivement versée dans le tube, j'ai dissous tout le bromure qui y avait été pesé. La double décomposition étant accomplie, et le liquide éclairci par l'agitation, il s'y est trouvé $0^{gr},0285$ d'argent dissous, d'où

$$9^{o}\quad Ag : KBr :: 100,000 : 110,544.$$

Comme la quantité de bromure employée dans cette expérience a été relativement considérable, j'ai voulu recueillir et peser le bromure d'argent qui en est provenu. Pour doser l'argent dissous, j'ai ajouté une solution normale de bromure de potassium dont le poids total s'est élevé à $0^{gr},0332$, et pour être certain du titre, il m'a fallu suppléer $0^{gr},0015$ d'argent. Ces quantités sont venues augmenter respectivement le poids du bromure et de l'argent employés. Ils ont fourni $34^{gr},277$ de bromure d'argent, représentant $34^{gr},2817$ de ce composé, pesé dans le vide, d'où

$$Ag : Br :: 100,000 : 74,080;$$

résultat identique à celui fourni par les synthèses complètes du bromure d'argent; et il en résulte que 100,000 de bromure de potassium produisent 157,7588 de bromure d'argent.

L'autre partie du bromure, provenant de l'évaporation des eaux-mères, a été introduite dans le tube de verre réfractaire dont j'ai parlé plus haut, et celui-ci a été placé dans la gaîne de tôle contenant la magnésie. J'ai éliminé

ensuite le brome à l'aide d'un courant de chlore sec, en opérant d'abord vers 100°, et ensuite à une température voisine du rouge sombre.

Dix grammes du chlorure de potassium, ainsi produits, ont été soumis à la volatilisation dans une nacelle de platine, placée dans un tube de porcelaine tapissé d'une feuille de platine roulée sur elle-même de manière à produire un cylindre, et chauffée au blanc. La volatilisation a eu lieu dans un courant d'azote pur et sec, comme je l'ai exposé pour la recherche de la silice dans les chlorures de potassium et de sodium destinés à la détermination du rapport proportionnel de ces corps avec les azotates correspondants. Ces dix grammes de chlorure ont laissé de $0^{gr},00085$ à $0^{gr},0009$ de silice mêlée de traces de silicate de potassium. Il résulte de cet essai que le bromure de potassium contient cinq cents millièmes environ de silice, ce qui ramène le rapport proportionnel, 110,344 observé, à 110,339.

Bromures provenant de l'action du brome pur sur l'hydrate de potassium.

J'ai fait ces déterminations, moins pour rechercher le rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent, que pour me renseigner sur l'état de pureté ou d'homogénéité du brome employé dans mes synthèses complètes du bromure d'argent.

Je vais dire, en peu de mots, comment je me suis procuré d'abord de l'hydrate de potassium. J'ai commencé par faire préparer une très-grande quantité de tartrate monopotassique pur. Dans ce but, après avoir laissé digérer à chaud la crème de tartre blanche, très-finement pulvérisée, avec de l'eau acidulée de cinq pour cent de son poids d'acide chlorhydrique, on a lessivé à l'eau distillée froide, jusqu'à ce que les eaux de lavages fussent complétement dépouillées de chlorures, de sulfates et de phosphates. La crème de tartre lavée a été séchée et chauffée aussi fortement que possible sans la décomposer. Je l'ai fait soumettre à la dessiccation à chaud, afin de rendre insoluble la silice qui y existait. Le sel a été dissous ensuite et cristallisé un nombre de fois suffisant pour le séparer de tout le sodium qu'il est possible d'en éliminer de cette manière. Il a fallu *sept cristallisations successives* pour atteindre ce résultat.

Le sel, bien séché, a été carbonisé par parties à la fois dans un grand creuset d'argent. Le résidu, humecté d'eau, a été placé dans un grand cornet fait à l'aide d'une feuille d'argent et abandonné sous une cloche avec de l'eau. Le carbonate de potassium a été reçu dans une capsule d'argent. Malgré le traitement à l'acide chlorhydrique, la dessiccation énergique et le nombre considérable de cristallisations qu'on avait fait subir au tartrate monopotassique, le carbonate de potassium obtenu renfermait notablement de la silice, de l'alumine et des traces de fer. Je l'ai transformé en hydrate de potassium en le dissolvant dans dix-huit à vingt fois son poids d'eau, et en faisant bouillir la solution dans une chaudière de platine de cinq litres de capacité, avec de l'hydrate de calcium pur [1]. Lorsque le mélange eut bouilli assez longtemps pour ne plus contenir de traces de carbonate de potassium, j'abandonnai la solution au refroidissement, en maintenant bouché le chapiteau de platine adapté à la chaudière.

J'ai pris *cinquante centimètres cubes* du brome pur employé dans les synthèses complètes du bromure d'argent, n^os^ I et II, que j'ai versés dans un grand ballon de verre dur, contenant déjà un demi-litre d'eau. J'ai ajouté ensuite, petit à petit, la solution de l'hydrate de potassium, jusqu'à ce que le brome eût disparu au point de laisser un liquide coloré en jaune. J'ai porté le liquide à l'ébullition; après la volatilisation de l'excès de brome, je l'ai évaporé jusqu'à siccité dans une capsule de porcelaine et j'ai porté la température du résidu jusqu'à près du point de fusion du bromate formé. J'ai épuisé alors la masse saline par de l'alcool anhydre et pur, afin d'enlever les traces de bromure de calcium qui y étaient contenues. L'alcool étant chassé par la chaleur, j'ai introduit le sel dans un petit appareil à déplacement, et j'ai opéré le lavage méthodique à l'aide de l'eau glacée, pour séparer autant que possible le bromure du bromate.

J'ai soumis à des cristallisations répétées le bromate isolé, aussi longtemps que j'ai pu y découvrir la moindre trace de bromure, et j'ai décomposé ensuite ce bromate, à l'aide de la température la moins élevée possible.

[1] On a préparé cet hydrate par l'action de l'eau sur l'oxyde de calcium. Cet oxyde lui-même provenait de la calcination au blanc, dans un creuset de platine, du carbonate de calcium préparé par l'action du carbonate d'ammonium sur l'azotate de calcium, obtenu en dissolvant un excès de chaux du marbre dans de l'acide azotique pur.

D'un autre côté, toutes les eaux-mères de la cristallisation du bromate ont été concentrées, pour amener la cristallisation de tout le bromate qui y était contenu avec une partie du bromure. *Le sel ainsi produit a été écarté,* les eaux-mères seules ont été ajoutées à la solution de bromure obtenu par la lixiviation du mélange primitif, et le tout a été évaporé jusqu'à siccité dans un vase de porcelaine, et chauffé au delà du point de décomposition du bromate.

Le bromure provenant de la décomposition du bromate, et le bromure qui s'est formé en même temps que ce sel, ont été repris *séparément* par une quantité d'eau de brome pur suffisante pour les dissoudre. Les solutions ont été évaporées à siccité et le résidu chauffé au point d'agglutiner le bromure. J'ai repris alors une dernière fois les composés par de l'eau pure, pour m'assurer si les solutions étaient absolument limpides, incolores et sans action sur le tournesol; *ce qui s'est en effet réalisé.* Après les avoir laissées séjourner vingt-quatre heures dans des vases de platine, je les ai décantées et évaporées à siccité.

Les bromures, essayés au spectroscope, offraient la raie sodique à un degré d'intensité et de persistance égal. Cette intensité et cette persistance n'étaient pas sensiblement plus grandes que celles observées sur le bromure provenant du bromate soumis à *cinq cristallisations successives,* exécutées sur plusieurs kilogrammes à la fois.

Une partie de chacun de ces bromures a été introduite dans un tube de verre dur, effilé par un bout et muni à l'autre bout d'un bouchon de verre rodé; elle a été chauffée près du rouge sombre, dans un courant d'azote pur et sec.

$9^{gr},2013$ du bromure provenant de la calcination du bromate, représentant $9^{gr},20526$ dans le vide, ont été ajoutés à une solution azotique d'argent contenant $8^{gr},3538$ de ce métal pesé dans l'air, représentant $8^{gr},35435$ dans le vide. Après la double décomposition, ils ont laissé $0^{gr},0113$ d'argent en solution, d'où

$$10^{o}\ Ag : KBr :: 100,000 : 110,552.$$

$20^{gr},1145$ du bromure formé en même temps que le bromate qui a fourni

le composé précédent ont été versés dans une solution azotique de $18^{gr},2617$ d'argent pesé dans l'air, et représentant $18^{gr},2629$ dans le vide; ils ont laissé $0^{gr},02625$ d'argent non précipité, d'où

11° Ag : KBr :: 100,000 : 110,543.

Bromure préparé à l'aide du bromate de baryum.

Deux cents grammes de bromate de baryum cristallisé *quatre fois*, et dont une partie a servi à l'extraction du brome employé dans la synthèse n° IV, ont été mis en ébullition avec deux litres d'eau pure. A mesure que la solution du sel s'opérait, j'ajoutais, petit à petit, une solution concentrée de carbonate de potassium obtenu à l'aide de la carbonisation en vase clos de la crème de tartre purifiée, comme je l'ai dit plus haut. Lorsque tout le baryum a été précipité, j'ai abandonné le tout au repos à chaud, et j'ai décanté ensuite la liqueur limpide que j'ai évaporée jusqu'à siccité complète. J'ai repris le sel par une quantité convenable d'eau presque bouillante, pour séparer les traces de carbonate de baryum qui étaient restées en solution. Le liquide, suffisamment reposé à chaud pour garantir le dépôt complet du carbonate de baryum, a été réduit au point de déposer, par refroidissement brusque, la majeure partie du bromate de potassium à l'état de poussière cristalline. J'ai versé la bouillie dans un appareil à déplacement, et je l'ai lessivée à l'aide de l'eau glacée, pour éliminer l'eau-mère contenant une petite quantité de carbonate de potassium employé en excès. Lorsque l'eau de lavage eut perdu complétement la propriété de bleuir le papier rouge de tournesol, je soumis le bromate à trois cristallisations successives. L'eau-mère de la *première cristallisation* était déjà neutre et ne troublait aucunement la limpidité d'une solution diluée et bouillante d'azotate d'argent.

J'ai décomposé, dans un vase de porcelaine, et à la plus basse température possible, le bromate de la *troisième* cristallisation. Le bromure produit était incolore, la solution en était *neutre* et limpide.

$15^{gr},8245$ de ce bromure, représentant $15^{gr},8310$ dans le vide, ont été introduits dans une solution azotique de $14^{gr},3667$ d'argent, représentant dans

le vide 14^{gr},3676 de ce métal; après la double décomposition, ils ont laissé 0^{gr},0225 d'argent non précipité, d'où

12° Ag : KBr :: 100,000 : 110,557.

Le restant du bromure précédent a été dissous dans de l'eau de brome préparée à l'aide du brome extrait du bromate de baryum; la solution a été évaporée jusqu'à siccité et le résidu chauffé jusqu'à près de 400°. Après le refroidissement, j'ai repris le résidu par de l'eau froide : la solution, sans être positivement trouble, manquait cependant de la limpidité qui caractérise les solutions des chlorures et bromures alcalins. Je l'ai filtrée au travers de la mousse de platine tassée et fortement calcinée; après vingt-quatre heures de repos, je l'ai décantée et évaporée jusqu'à pellicule dans un vase de platine. Le bromure, qui s'en est séparé par un refroidissement rapide, a été lavé à l'eau glacée, séché et chauffé ensuite jusqu'à son point de fusion.

11^{gr},0565 de ce bromure, représentant 11^{gr},0613 dans le vide, ont été ajoutés à une solution nitrique de 10^{gr},0382 d'argent, représentant 10^{gr},0388 de ce métal dans le vide; après la double décomposition, le liquide limpide contenait 0^{gr},0155 d'argent à l'état d'azotate, d'où

13° Ag : KBr :: 100,000 : 110,554.

Les eaux-mères et de lavages du bromure précédent ont été évaporées à siccité, et le résidu a été fondu dans une grande nacelle de platine placée dans un tube de porcelaine chauffé au rouge. Le tube de porcelaine était traversé par un courant d'azote pur et sec.

Le bromure, après sa solidification, était incolore, d'une transparence parfaite.

16^{gr},2962 de ce bromure, représentant 16^{gr},3032 dans le vide, ont été introduits dans une solution azotique de 14^{gr},7952 d'argent, représentant 14^{gr},7961 de ce métal dans le vide. Après la double décomposition, le liquide limpide contenait 0^{gr},02025 d'argent dissous, d'où

14° Ag : KBr :: 100,000 : 110,555.

En récapitulant les différents résultats auxquels je suis arrivé, je trouve, pour rapport proportionnel entre l'argent et le bromure de potassium, les nombres suivants :

				SOURCES DU BROMURE.
1re SÉRIE. . .	1. 100,000 Ag	= 110,561.	KBr	Le bromure du bromate, qui avait cristallisé *quatre* fois, traité au bromure d'ammonium et fondu.
	2. —	110,560.		
	3. —	110,560.	—	Le n° 1 repris par de l'eau, la solution filtrée et évaporée, et le résidu fondu dans l'azote.
	4. —	110,542.	—	Le bromure n° 1, redissous et cristallisé *une* fois.
	5. —	110,546.	—	Le bromure n° 4, redissous et cristallisé une *deuxième* fois.
	6. —	110,558.	—	Le bromure n° 5, redissous et cristallisé une troisième fois.
2e SÉRIE. . .	7. —	110,560.	—	Le bromure provenant de la calcination *directe* du bromate qui avait cristallisé *cinq* fois.
	8. —	110,556.	—	Le bromure n° 7, traité au bromure d'ammonium, puis cristallisé.
	9. —	110,544.	—	Le bromure des eaux-mères et de lavage du n° 8; il renfermait cinq cents millièmes de silice.
3e SÉRIE. . .	10. —	110,552.	—	Le bromure provient de la calcination du bromate produit par l'action du brome pur sur l'hydrate de potassium.
	11. —	110,545.	—	Le bromure a été produit en même temps que le bromate qui a fourni le n° 10.
4e SÉRIE. . .	12. 100,000 Ag	= 110,557.	KBr	Le bromure provient de la calcination du bromate de potassium, obtenu à l'aide du bromate de baryum pur.
	13. —	110,554.	—	Le bromure n° 12, dissous dans de l'eau de brome, la solution évaporée à siccité et le résidu redissous, filtré et cristallisé.
	14. —	110,535.	—	Le bromure des eaux-mères et de lavages du composé employé au n° 13.
MOYENNE GÉNÉRALE		110,545 de bromure pour 100,000 d'argent.		

Cette moyenne est presque identique avec le résultat auquel est arrivé

M. Marignac, en 1843. En effet, *en réduisant au vide* le nombre 110,506 qu'il a obtenu à l'aide de pesées faites dans l'air, on a 110,343, qui se confond avec 110,345. Cependant, quelque grande que soit cette concordance, je ne pense pas que ce nombre représente le véritable rapport proportionnel du bromure de potassium; car la plupart, sinon tous les échantillons de ce composé, soumis à l'expérience par M. Marignac ou par moi, devaient contenir des traces de matières étrangères, et notamment de la silice ou du peroxyde de potassium, ou ces deux corps à la fois. J'ai constaté, dans le courant de ce travail, que le bromure qui a fourni 110,344 pour rapport proportionnel renfermait cinq cents millièmes de son poids de silice, ce qui ramène ce chiffre à 110,339. On arrive au même résultat en écartant des quatorze déterminations les n^{os} 1, 2, 3, 7 et 12 qu'on peut, avec probabilité sinon avec certitude, considérer comme étant affectés de causes d'erreur; dans ce cas, on obtient pour moyenne 110,338. C'est, d'après mon *appréciation*, le chiffre le plus élevé auquel peut atteindre le rapport proportionnel entre l'argent et le bromure de potassium supposé pur.

Mais, quelque certitude que je puisse avoir de l'erreur qui vicie quelques-uns des résultats consignés ci-dessus, il est, à mon sens, contraire aux vrais principes de former une moyenne par *voie d'appréciation;* ce serait l'arbitraire érigé en règle. Je pense donc qu'on doit prendre la moyenne brute 110,345, comme représentant le rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent, en considérant toutefois le nombre comme étant la limite supérieure à laquelle ce rapport puisse atteindre; car le moyen employé pour produire les bromates qui m'ont fourni les différents échantillons de bromure exclut la possibilité de l'existence du chlore, qui tend à diminuer le rapport proportionnel.

Si je déduis du chiffre 110,345 le poids moléculaire du bromure, en admettant 107,93 pour poids atomique de l'argent, je trouve 119,095.

En prenant 79,951 pour poids atomique du brome, valeur qui dérive de l'ensemble des travaux de M. Marignac et des miens, comme je l'ai établi dans le Mémoire précédent, le poids atomique du potassium devient égal à 39,144; et inversement, si je prends le potassium égal à 39,130, qui dérive des travaux exposés dans mes *Recherches sur les rapports réciproques des*

poids atomiques, j'arrive à 79,965 pour le poids atomique du brome. En 1843, M. Marignac avait obtenu 79,968, par cette voie.

En déduisant le poids atomique du brome du rapport proportionnel entre le bromure de potassium et le bromure d'argent, d'après la détermination n° 9, et du poids du bromure d'argent qui en est résulté, je constate que le poids moléculaire du bromure d'argent est 187,88, et que le poids atomique du brome est 79,950. Par la synthèse du bromure d'argent, M. Marignac était arrivé à 79,945.

Ainsi, des relations entre le brome, le potassium et l'argent, il résulte que l'argent étant 107,93,

Le potassium est compris entre 39,130 et 39,144 ou 39,137,

Et le brome est compris entre 79,945 et 79,965 ou 79,955.

Dans l'introduction qui précède ces Mémoires, j'ai résumé les résultats auxquels je suis arrivé dans chacun d'eux, et les conséquences qui, d'après moi, en découlent. Je crois inutile de reproduire ici de nouveau les résultats généraux, et je laisse aux chimistes le soin de juger si l'ensemble de ces travaux justifie les conclusions que j'en ai déduites.

Arrivé au terme de ce long labeur, je me permets d'émettre un vœu : ce vœu est qu'un chimiste, dont l'autorité scientifique est suffisamment établie, veuille bien se donner la peine de contrôler l'une quelconque des données fondamentales de mes recherches : la synthèse de l'azotate d'argent, par exemple, et de faire connaître le résultat de ses recherches. Sans réserve aucune je me soumets à son jugement.

FIN.

TABLE ANALYTIQUE.

Pages.

INTRODUCTION 1

PREMIER MÉMOIRE.

RECHERCHES NOUVELLES SUR LES LOIS DES PROPORTIONS CHIMIQUES.

PREMIÈRE PARTIE.

DE LA CONSTANCE DE COMPOSITION DES COMBINAISONS DITES STABLES.

Préliminaires 27

I. *De l'argent* 30

Des moyens employés pour m'assurer du degré de pureté de l'argent 35
Détermination du titre de l'argent de différentes provenances 39

II. *Du chlorure d'ammonium* 48

Chlorure d'ammonium obtenu par l'ammoniaque extraite du sel ammoniac purifié à l'eau régale. . . . . *ib.*
Chlorure d'ammonium produit à l'aide de l'ammoniaque extraite du sulfate du commerce. 49
Chlorure d'ammonium obtenu à l'aide de l'ammoniaque produite par la réduction de l'azotite de potassium 50
Chlorure d'ammonium volatilisé dans le vide 53
Mode de détermination du rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure d'ammonium. 55

Rapport proportionnel entre l'argent et le chlorure d'ammonium 57

DEUXIÈME PARTIE.

DE L'INVARIABILITÉ DES RAPPORTS EN POIDS DES ÉLÉMENTS FORMANT LES COMBINAISONS CHIMIQUES.

Pages.

PRÉLIMINAIRES 60

I. *Recherches sur la transformation de l'iodate d'argent en iodure, sous l'influence de l'acide sulfureux, faites dans le but de constater si le rapport en poids de l'iode à l'argent est le même dans ces deux corps* 68

Iodate d'argent préparé par l'iodate de potassium et l'azotate d'argent . . . . . *ib.*
Iodate d'argent préparé par l'iodate de potassium et le sulfate d'argent 70
Iodate d'argent préparé par l'acide iodique et le sulfate d'argent 71
Iodate d'argent préparé par l'iodate de potassium et le dithionate d'argent. 72

II. *Recherches sur la transformation du bromate d'argent en bromure, sous l'influence de l'acide sulfureux, faites dans le but de constater si le rapport du brome à l'argent est le même dans ces deux corps* 77

Bromate d'argent préparé par le bromate de potassium et l'azotate d'argent 82
Bromate d'argent préparé par le bromate de potassium et le sulfate d'argent 84
Bromate d'argent préparé par le bromate de potassium et le dithionate d'argent . . . 89

III. *Recherches sur la transformation du chlorate d'argent en chlorure, sous l'influence de l'acide sulfureux, faites dans le but de constater si le rapport en poids du chlore à l'argent est le même dans ces deux corps* 90

De l'action du chlore sur l'oxyde et sur le carbonate d'argent 92
Chlorate d'argent préparé par l'action du chlore sur le carbonate d'argent suspendu dans de l'eau 94
Chlorate d'argent préparé par l'action du chlore sur l'oxyde d'argent suspendu dans de l'eau 103
CONCLUSIONS 108

NOTES.

Sur la préparation de l'eau distillée pure 109
Sur la réduction des sels d'argent ammoniacaux sous l'influence des sels cuivreux ammoniacaux. 111
Sur la capacité du réservoir de l'appareil destiné à la détermination du titre de l'argent. 112
Sur la capacité du mesureur de l'appareil destiné à la détermination du titre de l'argent. *ib.*
Sur la préparation de l'iodate de potassium 113
Sur le lavage et la dessiccation de l'iodate d'argent 114
Préparation de l'anhydride sulfureux employé pour la réduction de l'iodate, du bromate et du chlorate d'argent 116
Sur la préparation de l'acide iodique . . . . . *ib.*
Sur le dithionate de baryum et l'acide dithionique. 117
Sur le sulfate et le bromate d'argent 118

DEUXIÈME MÉMOIRE.

RECHERCHES NOUVELLES SUR LES POIDS ATOMIQUES DE L'ARGENT, DE L'IODE, DU BROME ET DU CHLORE, FAITES DANS LE BUT DE CONSTATER SI LE POIDS ATOMIQUE DE L'ARGENT A L'AIDE DE CES TROIS CORPS EST LE MÊME, ET SI CES POIDS ATOMIQUES SONT CONFORMES A L'HYPOTHÈSE DE PROUT.

Pages.

PRÉLIMINAIRES 119

I. *Des systèmes employés pour faire des synthèses et des analyses* 120

II. *Nouvelles synthèses de l'iodure d'argent* 122

Synthèses par différence de l'iodure d'argent . . . . . *ib.*
Résultats de ces synthèses. 135
Synthèses par somme et synthèses complètes de l'iodure d'argent 136
De l'iode employé dans les synthèses . . . . . *ib.*
Des moyens employés pour effectuer la combinaison d'un poids déterminé d'iode avec un poids déterminé d'argent 141
Résultats des synthèses par somme et des synthèses complètes de l'iodure d'argent . . 152

III. — *Nouvelles synthèses du bromure d'argent* 154

Synthèse par différence du bromure d'argent . . . . . *ib.*
Résultats de cette synthèse 158
Synthèses par somme et synthèses complètes du bromure d'argent . . . . . *ib.*
Du brome employé dans les synthèses . . . . . *ib.*
Du moyen employé pour effectuer la combinaison d'un poids déterminé de brome avec un poids déterminé d'argent 166
Résultats des synthèses par somme et des synthèses complètes du bromure d'argent . 171

IV. — *Nouvelles analyses de l'iodate d'argent. — Analyses complètes de l'iodate d'argent* 172

Préparation de l'iodate. 173
Appareil destiné à la décomposition de l'iodate 174
Appareil destiné à fixer l'oxygène 177
Du système destiné à la condensation de l'eau 179
Du système d'appareil qui a fourni l'azote pur nécessaire à l'opération 180
Pesées des appareils 182
De l'opération de l'analyse de l'iodate d'argent 185
Résultats des analyses complètes de l'iodate d'argent 189

Analyses par différence de l'iodate d'argent. 191

Résultats des analyses par différence de l'iodate d'argent 193

V. — *Nouvelles analyses du bromate d'argent. — Analyses par différence du bromate d'argent.* 194

Pages.

Résultats des analyses par différence du bromate d'argent 198

VI. — *Nouvelles analyses du chlorate d'argent*. 200

Analyses par différence du chlorate d'argent . . . . . *ib.*
Résultats des analyses par différence du chlorate d'argent 208
Conclusions des synthèses de l'iodure, du bromure d'argent et des analyses de l'iodate, du bromate et du chlorate d'argent 210
Poids atomique de l'argent . . . . . *ib.*
Poids atomique du chlore 212
Poids atomique du brome . . . . . *ib.*
Poids atomique de l'iode . . . . . *ib*

TROISIÈME MÉMOIRE.

RECHERCHES FAITES DANS LE BUT DE DÉTERMINER ET DE CONTROLER LE POIDS ATOMIQUE DE L'AZOTE, DU BROME, DU CHLORE, DE L'ARGENT, DU LITHIUM, DU POTASSIUM ET DU SODIUM.

Préliminaires. 215

I. — *De la transformation des chlorures en azotates*. 216

Des vases employés dans les opérations . . . . . *ib.*
De l'appareil qui a servi à la transformation des chlorures en azotates 219
De l'acide azotique employé dans les transformations. 222
Du moyen employé pour opérer la transformation des chlorures en azotates 225
Du chlorure de potassium employé dans les déterminations et détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de potassium 231
Examen des chlorures de potassium employés dans les déterminations 240
Rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de potassium 244
Du chlorure de sodium employé dans les déterminations et détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de sodium. . . . . *ib.*
Rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de sodium 248
Examen des chlorures de sodium employés dans les déterminations 249
Du chlorure de lithium employé dans les déterminations 250
De la pesée du chlorure de lithium dans le vide 258
Examen des chlorures de lithium qui ont servi aux déterminations 264
Du moyen employé pour la détermination du rapport proportionnel entre le chlorure de lithium et l'argent 265
Rapport proportionnel entre le chlorure de lithium et l'argent 268
Du moyen employé pour la détermination du rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de lithium 269
Rapport proportionnel entre le chlorure et l'azotate de lithium 274

Pages.

II. — *De la transformation de l'argent en azotate* 275

Nouvelles synthèses de l'azotate d'argent . . . . . *ib.*
Résultats des nouvelles synthèses de l'azotate d'argent . . . . . *ib.*
Conclusions de la transformation des chlorures en azotates 283
Poids atomique de l'azote déduit du rapport proportionnel entre les chlorures et les azotates 287
Poids atomique du chlore déduit des transformations des chlorures en azotates . . . 289
Poids atomique du potassium déduit de la transformation du chlorure de potassium en azotate . . . . . *ib.*
Poids atomique du sodium déduit de la transformation du chlorure de sodium en azotate. *ib.*
Poids atomique du lithium déduit de la transformation du chlorure de lithium en azotate. *ib.*
Poids atomique de l'argent déduit de la synthèse de l'azotate d'argent . . . . . *ib.*

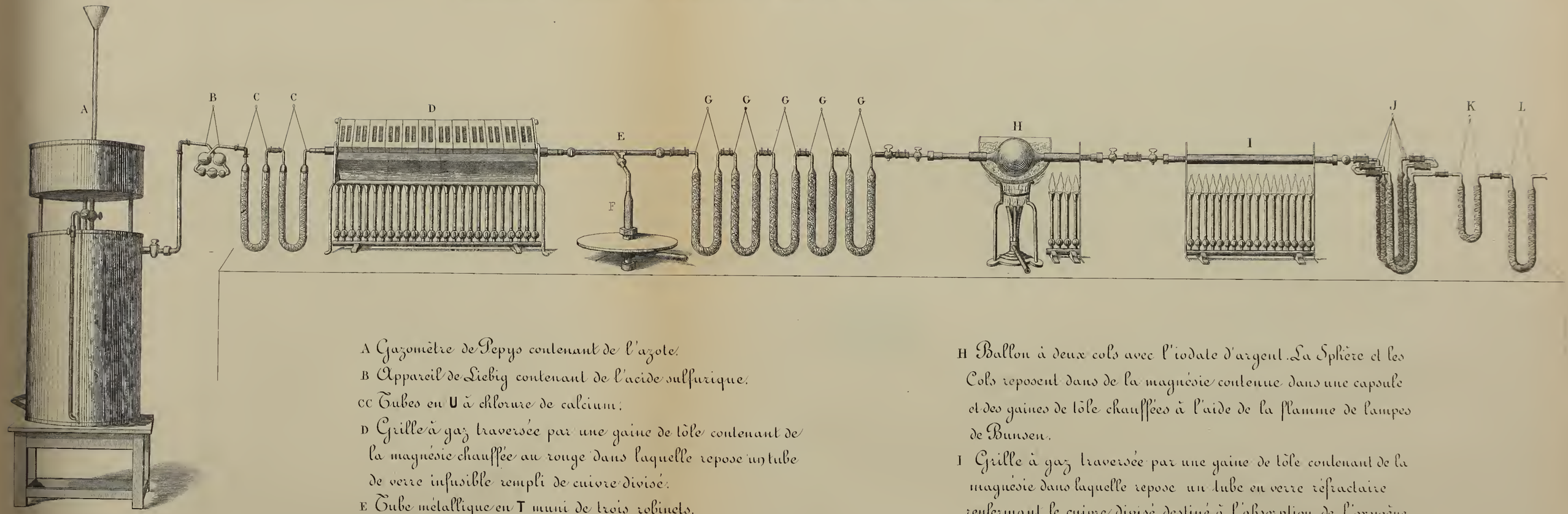
III. — *Détermination du rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent* 290

Bromure du bromate de potassium par l'action du chlore sur un mélange de bromure et d'hydrate de potassium 292
Bromure provenant de l'action du brome pur sur l'hydrate de potassium pur 298
Bromure du bromate de baryum 301
Rapport proportionnel entre le bromure de potassium et l'argent. 305
Poids moléculaire du bromure . . . . . *ib.*
Poids atomique du potassium. 304
Poids atomique du brome 305

TABLE ANALYTIQUE. 307

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE.

APPAREIL POUR L'ANALYSE COMPLÈTE DE L'IODATE D'ARGENT.



A Gazomètre de Pepys contenant de l'azote.

B Appareil de Liebig contenant de l'acide sulfurique.

CC Tubes en **U** à chlorure de calcium.

D Grille à gaz traversée par une gaine de tôle contenant de la magnésie chauffée au rouge dans laquelle repose un tube de verre infusible rempli de cuivre divisé.

E Tube métallique en **T** muni de trois robinets.

F Plateau d'une machine pneumatique.

GGGGG Tubes en **U** remplis de pierre ponce divisée et humectée d'acide sulfurique normal.

H Ballon à deux cols avec l'iodate d'argent. La Sphère et les Cols reposent dans de la magnésie contenue dans une capsule et des gaines de tôle chauffées à l'aide de la flamme de lampes de Bunsen.

I Grille à gaz traversée par une gaine de tôle contenant de la magnésie dans laquelle repose un tube en verre réfractaire renfermant le cuivre divisé destiné à l'absorption de l'oxygène dégagé de l'iodate d'argent.

J Système à condensation de l'eau ; il se compose de trois tubes en **U** remplis de ponce sulfurique.

K Tube en **U**, à ponce sulfurique destiné à servir de témoin.

L Tube en **U**, à ponce sulfurique, destiné à préserver le témoin K de l'humidité de l'air.

SUR LA STABILITÉ

DES

SYSTÈMES LIQUIDES EN LAMES MINCES;

PAR

ERNEST LAMARLE,

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES, PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE GAND,
ASSOCIÉ DE L'ACADÉMIE ROYALE.

(*Introduction, 1re partie et 1re section de la 2e partie.*)

(Mémoire présenté à l'Académie le 10 mai 1864.)

SUR LA STABILITÉ

DES

SYSTÈMES LIQUIDES EN LAMES MINCES.

INTRODUCTION.

Les lois qui régissent la formation des systèmes liquides en lames minces se résument toutes en une seule et même loi, dont voici l'énoncé :

DANS TOUT SYSTÈME LIQUIDE EN LAMES MINCES, A L'ÉTAT D'ÉQUILIBRE STABLE, LA SOMME DES AIRES DES LAMES EST UN MINIMUM.

Suppose-t-on que l'ensemble des lames d'un même système liquide soit assimilable à une membrane uniformément tendue ? *la loi du minimum des aires* résulte immédiatement de cette hypothèse. Veut-on procéder avec plus de rigueur et s'en tenir au principe de l'attraction moléculaire, comme l'ont fait Laplace et Poisson dans la théorie mathématique de la capillarité? il suffit de quelques lignes pour démontrer la loi fondamentale énoncée ci-dessus. Dans tous les cas, d'ailleurs, il est évident qu'elle implique cette première conséquence :

L'aire de chaque lame est un minimum entre les limites qui la circonscrivent.

De là découle ensuite cette autre déduction :

La courbure moyenne est constante en chacun des points d'une même lame. Elle est nulle, lorsque les pressions extérieures sont égales de part et d'autre; dans le cas contraire, elle est proportionnelle à leur différence.

Jusqu'ici nulle difficulté. Tout s'établit dans les conditions les plus simples et, pour ainsi dire, *à priori*. On peut observer, d'ailleurs, que si les lois précédentes n'exigent aucun effort de calcul pour être démontrées, elles échappent en quelque sorte à toute vérification qui serait, en même temps, directe et purement expérimentale. L'inverse a lieu pour les deux lois suivantes :

Les lames issues d'une même arête liquide sont au nombre de trois ;

Les arêtes issues d'un même sommet liquide sont au nombre de quatre.

L'expérience, toujours conforme à ces lois, les met d'elle-même en évidence ; tandis que pour les établir théoriquement, *la seconde surtout*, on rencontre des difficultés qui, au premier abord, semblent insurmontables.

Il est une sixième et dernière loi qu'on déduit aisément des deux précédentes et qui les complète. On peut l'énoncer comme il suit :

Les lames issues d'une même arête liquide se coupent deux à deux sous des angles égaux. Il en est de même des arêtes issues d'un même sommet liquide: c'est aussi sous des angles égaux qu'elles se coupent deux à deux.

Telles sont les lois d'où dépend la stabilité des systèmes liquides en lames minces. Elles sont toutes susceptibles de démonstration rigoureuse; mais si les unes sont en partie déjà démontrées, les autres, exclusivement fondées sur l'expérience, laissent subsister, au point de vue théorique, une énorme lacune. L'objet principal de ce mémoire est de combler cette lacune, en montrant comment les limitations numériques observées résultent nécessairement de *la loi du minimum des aires.*

Nous avons divisé notre travail en deux parties distinctes. La première est purement mathématique; la seconde est à la fois théorique et expérimentale.

Nous commençons par quelques pages où, après avoir exposé l'état de la question, nous démontrons en toute rigueur *la loi fondamentale du minimum des aires.* La première partie, intitulée Déductions théoriques, suit immédiatement. Elle a pour objet d'établir que *dans tout système liquide en lames minces, la somme des aires ne peut être un minimum sans impli-*

quer, comme conséquence, les trois dernières lois formulées ci-dessus :

L'emploi du calcul des variations semblait ici naturellement indiqué. En l'évitant, nous croyons avoir écarté des complications presque inextricables, et, d'ailleurs, toutes choses restant égales de part et d'autre, il nous a paru préférable de nous appuyer exclusivement sur les principes de la géométrie élémentaire et les premières notions de l'analyse différentielle.

Quelques pages suffisent pour établir un premier théorème, tout à fait général et qu'on peut énoncer comme il suit, en désignant, sous le nom d'*arêtes libres*, les arêtes dont on dispose librement dans toute leur étendue, et, sous celui d'*arêtes demi-libres*, celles dont on ne dispose qu'à la condition de les faire passer par un point fixe :

Dans tout système de lames, l'aire totale n'est un minimum que si les lames aboutissant à une même arête libre ou demi-libre sont au nombre de trois et se coupent deux à deux sous l'angle de 120°.

Partant de là, nous sommes conduit à poser et résoudre la question suivante :

Étant donnée la surface d'une sphère, comment et de combien de manières peut-on la découper en polygones convexes dont les angles soient tous de 120°?

Il est entendu, d'ailleurs, que les côtés de ces polygones sont tous des arcs de grand cercle.

L'équation très-simple fournie par cet énoncé est du premier degré à trois inconnues. L'indétermination qui résulte de la multiplicité des variables ne fait point obstacle à ce qu'on distingue immédiatement, parmi toutes les solutions, celles qui peuvent être admissibles. Elles se réduisent à dix-neuf, et ne cessent pas pour cela de comprendre encore des solutions étrangères. Il faut, à leur tour, distinguer celles-ci et les éliminer. On y parvient après quelques développements de trigonométrie sphérique. Il ne reste plus alors que sept combinaisons définitives, et telle est la solution cherchée.

Prenons à part et successivement chacune des combinaisons qui résolvent la question proposée. Prenons en même temps le polyèdre qu'on en déduit, *lorsque, à chaque côté des polygones compris dans la combinaison que l'on considère, on substitue la corde qui sous-tend ce côté.* Nous savons déjà que les combinaisons définitives sont au nombre de sept. Voici maintenant les résultats qu'elles donnent.

La première combinaison comprend quatre triangles équilatéraux. Le polyèdre correspondant est *le tétraèdre régulier*.

La deuxième combinaison se compose de deux triangles équilatéraux, comprenant entre eux trois quadrilatères de même grandeur. Le polyèdre qui lui correspond est *le prisme droit, à base triangulaire et équilatérale, dont la hauteur est au côté de la base comme l'unité est au nombre* $\sqrt{6} = 2{,}449484$.

La troisième combinaison comprend six quadrilatères équilatéraux. Le polyèdre correspondant est *le cube, autrement dit l'hexaèdre régulier*.

La quatrième combinaison se compose de deux pentagones équilatéraux, comprenant entre eux cinq quadrilatères de même grandeur. Le polyèdre qui lui correspond est *le prisme droit à base pentagonale et régulière, dans lequel le rapport de la hauteur au côté de la base a pour valeur* $\sqrt{2{,}5 + 1{,}1\sqrt{5}} = 2{,}22707$.

La cinquième combinaison comprend douze pentagones équilatéraux. Le polyèdre correspondant est le *dodécaèdre régulier*.

La sixième combinaison se compose de deux quadrilatères équilatéraux opposés l'un à l'autre et comprenant entre eux huit pentagones égaux et sémi-réguliers. Le polyèdre qui correspond à cette combinaison est *le décaèdre qui résulte de la juxtaposition de deux groupes identiques, dont chacun comprend quatre pentagones gauches, égaux et semi-réguliers, accolés entre eux et à un même carré.*

Supposons ce décaèdre inscrit dans la sphère qui a l'unité pour rayon. Si l'on désigne, pour chaque pentagone, par

a le plus grand côté;

b chacun des deux côtés contigus au précédent;

c chacun des deux derniers côtés;

b' la droite qui joint les deux sommets situés sur une parallèle au côté a;

T le triangle isocèle formé par la droite b' et les deux côtés c;

Q le trapèze formé par cette même droite, les côtés égaux b et le côté a;

h la hauteur du côté a au-dessus du plan du triangle T;

λ la projection sur ce plan de la distance comprise entre le côté a et la parallèlle b';

ω l'angle que ce même plan fait avec celui du trapèze Q;

On a

$$a = \frac{2}{5}\sqrt{5} = 1{,}154005$$

$$b = 2\sqrt{\frac{4 - \sqrt{2} - 2\sqrt{\sqrt{2}}}{6}} = 0{,}3718134$$

$$c = 2\sqrt{\frac{2 - \sqrt{2}}{5}} = 0{,}8837612$$

$$b' = 2\sqrt{\frac{\sqrt{2}}{5}} = 1{,}373177$$

$$h = 0{,}076557, \qquad \lambda = 0{,}546951, \qquad \omega = 12°,26',36''. \ *$$

Ajoutons, pour compléter la définition du décaèdre, que le côté a est le côté commun au carré et aux pentagones qui lui sont accolés.

La combinaison septième et dernière comprend quatre pentagones et deux groupes égaux composés chacun de deux quadrilatères accolés l'un à l'autre par l'un de leurs plus grands côtés. Les pentagones sont égaux et semi-réguliers; les quadrilatères ont tous même grandeur. Le polyèdre qui correspond à cette combinaison est *l'octaèdre non régulier qui résulte de la juxtaposition de deux groupes égaux comprenant chacun,*

1° *Deux pentagones gauches égaux et semi-réguliers;*

2° *Deux rectangles égaux accolés entre eux par l'un de leurs plus grands côtés.*

* Les trois dernières valeurs se déduisent des suivantes :
On a d'abord pour la diagonale c', qui sous-tend les deux côtés b et c,

$$c' = 2\sqrt{\frac{2 + \sqrt{2} - \sqrt{2\sqrt{2}}}{6}} = 1{,}0746847.$$

Il vient ensuite en désignant par p, q, r les plus courtes distances respectivement comprises, la première (p) entre le côté a et la droite b', la seconde (q) entre la droite b' et le sommet opposé au côté a, la troisième (r) entre le côté a et ce même sommet,

$$p = 0{,}555297$$
$$q = 0{,}556444$$
$$r = 0{,}906650.$$

On a, d'ailleurs, avec les mêmes notations que dans le cas du décaèdre :

$$a = 1{,}535687, \quad b = 0{,}2561055, \quad c = 0.975557, \quad b' = 1{,}4729616$$
$$h = 9{,}0686, \quad \lambda = 0{,}2152, \quad tg\omega = 0{,}5189, \quad \omega = 17°41'15''.$$

On complète la définition de l'octaèdre en ajoutant que les côtés des rectangles sont respectivement égaux, le plus grand au côté a, le plus petit au côté c.

Cela posé, considérons tour à tour chacun des polyèdres précédemment définis.

Soit Π l'un quelconque de ces polyèdres. Ses arêtes étant supposées fixes et invariables, nous les prenons pour bases d'une suite de triangles accolés trois à trois autour d'un même rayon et ayant tous leurs sommets au centre de figure. Les triangles ainsi déterminés constituent, dans leur ensemble, le système de lames qu'il s'agit d'étudier et que nous appelons *système primitif*. Par hypothèse, ces lames sont assujetties à conserver leurs attaches sur les arêtes du polyèdre Π et à se relier entre elles, soit directement, soit avec interposition d'une ou de plusieurs lames additionnelles, mais, dans tous les cas, toujours sans déchirure ni solution de continuité. Elles peuvent d'ailleurs s'étendre ou se contracter librement. De là résulte, pour leur ensemble, une infinité de déformations possibles. Tout se réduit à démontrer que, parmi ces déformations, il en est une au moins pour laquelle *la somme totale des aires présentées par les lames commence par décroître*. Cette démonstration exige d'assez longs développements. Quoi qu'il en soit, elle est possible et nous la donnons pour tous les polyèdres, à l'exception d'un seul, *le tétraèdre régulier*. La conséquence est dès lors évidente. Elle implique le théorème général dont voici l'énoncé (la désignation de *sommets libres* s'appliquant aux sommets dont on dispose et qu'on peut déplacer comme on veut) :

Dans tout système de lames, l'aire totale ne peut être un minimum que si les arêtes issues d'un même sommet libre sont au nombre de quatre et se coupent deux à deux sous des angles égaux.

Rapprochons cet énoncé de celui qui concerne les lames issues d'une même arête libre ou demi-libre. En les résumant tous deux, nous pouvons les formuler comme il suit :

Dans tout système de lames, deux conditions sont nécessaires pour que la somme totale des aires puisse être un minimum :

Il faut, d'abord, que les lames aboutissant à une même arête libre ou demi-libre soient au nombre de trois et se coupent deux à deux sous l'angle de 120°;

Il faut, ensuite, que les arêtes issues d'un même sommet libre soient au nombre de quatre et se coupent deux à deux sous l'angle dont le cosinus a pour valeur $-\frac{1}{3}$, *soit, approximativement, sous l'angle de* 109° 28′ 16″.

On voit, d'ailleurs, aisément comment les lois qu'il s'agissait d'établir ne sont qu'un cas particulier de ce dernier théorème.

Passons à la seconde partie du mémoire. Elle se subdivise en trois sections et a principalement pour objet la vérification expérimentale des déductions théoriques fournies par tout ce qui précède. Les polyèdres qu'on y désigne sous le nom de *polyèdres types* sont les sept polyèdres déterminés ci-dessus, les seuls qui puissent donner un *système primitif* où les lames, concourant toutes au centre de figure, soient au nombre de trois pour chaque arête issue de ce centre et se coupent deux à deux sous l'angle de 120°. On passe de ces polyèdres à leurs *dérivés* en changeant une ou plusieurs de leurs dimensions.

La première section traite des questions générales qui concernent à la fois les polyèdres types et leurs dérivés. Nous y donnons quelques détails sur la construction des carcasses polyédriques et sur leur mise en œuvre. Le reste est, pour ainsi dire, entièrement nouveau. Nous faisons voir comment on peut reconnaître *à priori,* pour chacun des *polyèdres types* ou de *leurs dérivés,* l'une au moins des dispositions générales qui se réalisent dans l'état d'équilibre stable des lames liquides intérieures. Réduit à son expression la plus simple, voici en quoi consiste le procédé dont il s'agit :

Étant donné le polyèdre sur lequel on veut opérer, on choisit arbitrairement l'une de ses faces, et, par la pensée, on supprime non-seulement cette face, mais aussi toutes celles qui lui sont contiguës, LES FACES, ARÊTES ET SOMMETS NON CONTIGUS A LA FACE CHOISIE ÉTANT SEULS CONSERVÉS. *Cela fait, on n'a plus qu'à considérer les parties restantes. Elles déterminent, par leur nombre, leur espèce et leur disposition, la disposition, l'espèce et le nombre des parties libres du système liquide correspondant.*

Pour bien comprendre cet énoncé, il suffit de savoir qu'on entend par *parties libres* celles qui restent en dehors de toute arête solide ou qui ne s'y rat-

tachent pas directement. Tels sont les sommets libres déjà définis, les arêtes comprises entre ces sommets, les lames que ces mêmes arêtes circonscrivent.

Le procédé qui vient d'être décrit va plus loin encore: il permet de déterminer, *par rapport à chacune des faces du polyèdre sur lequel on expérimente*, le polyèdre laminaire dont cette même face peut être considérée comme la base.

Soit, en effet, Π le polyèdre donné; F la face à choisir pour satisfaire aux conditions de la règle qui précède; F_1 l'une quelconque des faces contiguës à la face F; F_2 l'une quelconque des faces restantes :

La face F *se distingue des autres, en ce que le polyèdre laminaire, dont elle est la base, a, pour faces opposées, le groupe entier de toutes les lames libres. Ce polyèdre laminaire a, d'ailleurs, pour faces latérales une suite de lames dont chacune est de même espèce que la face* F_1 *du polyèdre* Π *qui se rattache à la face* F *par la même arête solide.*

Tout polyèdre laminaire correspondant à une face F_1 *se réduit à une suite de lames qui se relient directement entre elles, sans interposition d'aucune lame libre, et qui partent respectivement des différents côtés de la face* F_1. *La lame issue de l'arête commune à la base* F_1 *et à la face* F *est de même espèce que la face* F_1. *Les deux lames, qui sont contiguës à la précédente et qui la comprennent entre elles, sont triangulaires. Les lames restantes, s'il y en a, sont quadrangulaires.*

Tout polyèdre laminaire correspondant à une face F_2 *a, pour face opposée à sa base, une lame de même espèce que cette base et semblablement placée; pour faces latérales, des lames qui sont toutes quadrangulaires et dont chacune relie l'arête solide dont elle part à l'arête correspondante de la lame libre opposée à la base* F_2. *

Après l'exposé de ces lois si simples viennent quelques considérations relatives au polyèdre laminaire qu'on peut former à l'intérieur du polyèdre Π en fermant la face F par une lame liquide additionnelle. Ce nouveau polyèdre, que nous désignons par la lettre Π'', se dispose comme le polyèdre Π

* On observera, pour les cas du tétraèdre, du prisme triangulaire, du cube et du prisme pentagonal, que, en vertu de la première règle, les parties libres du système liquide correspondant se réduisent tantôt à un sommet, tantôt à une arête, tantôt à une lame. A cela près, rien ne change dans l'application de la deuxième règle.

et n'en diffère, au point de vue de la forme, que par la courbure plus ou moins prononcée de ses faces et de ses arêtes. On peut, d'ailleurs, augmenter ou diminuer à volonté le volume du polyèdre Π''. Ces expériences ne sont pas seulement très-curieuses, elles présentent ici des moyens précieux de contrôle. Nous citerons, pour exemples, les cas particuliers du tétraèdre, du cube et du dodécaèdre. Les polyèdres correspondants Π'' ont toutes leurs faces de courbure sphérique et de même rayon pour chacun d'eux. Il s'ensuit que les arêtes liquides sont les unes à courbure circulaire, les autres rectilignes. Ces conditions très-simples et très-remarquables se prêtent d'elles-mêmes à de nombreuses vérifications.

La deuxième section contient pour chacun des polyèdres types le détail des expériences faites sur ce polyèdre, et, s'il y a lieu, sur ses dérivés. Elle présente partout la confirmation la plus satisfaisante des données théoriques et renferme un grand nombre de résultats nouveaux. Tout, d'ailleurs, y est absolument neuf, en ce qui concerne les polyèdres types ayant respectivement pour faces, l'un deux carrés et huit pentagones, l'autre quatre pentagones et quatre rectangles. Cette dernière circonstance s'explique d'elle-même. Il était naturel de prendre pour polyèdres d'épreuve les prismes droits à bases triangulaires, carrées ou pentagonales, le tétraèdre et le dodécaèdre réguliers, c'est-à-dire cinq des sept polyèdres qui satisfont ou peuvent satisfaire aux conditions du problème posé et résolu dans la première partie. La forme simple et régulière de ces polyèdres bien connus les désignait d'avance à l'attention des physiciens. Il en est autrement des deux derniers polyèdres types. Leur forme irrégulière et complexe ne permettait pas qu'on les distinguât *à priori* de tous les polyèdres possibles, et ce sont exclusivement nos déductions théoriques qui nous ont conduit à les découvrir. Ils complètent la série des polyèdres qu'on devrait soumettre à l'expérimentation, dans un cours où, après avoir établi la loi relative aux lames issues d'une même arête liquide, ce qui ne présente aucune difficulté, on ne pourrait pas aborder la démonstration très-longue et assez laborieuse de la loi qui limite à quatre le nombre des arêtes issues d'un même sommet libre. La marche à suivre est nettement indiquée pour ce cas. Partant de la première des deux lois que nous venons de rappeler, on en déduirait la détermination directe de tous les systèmes géométriquement possibles, et il suffirait, à cet égard, d'invoquer celui

de nos théorèmes qui réduit à sept le nombre de manières dont la surface sphérique peut se découper en polygones convexes ayant tous leurs angles égaux entre eux et à 120°. Cela fait, on n'aurait plus qu'à prendre successivement chacun des polyèdres types et à opérer de manière que les lames du système liquide correspondant vinssent, *pour un instant*, concourir toutes ensemble au centre de figure. On constaterait ainsi que, à l'exception du cas du tétraèdre, où cette disposition des lames se produit d'elle-même et subsiste seule, elle est toujours instable et ne peut jamais se maintenir pour aucun des autres polyèdres.

Les règles établies dans la première section trouvent leur application dans les expériences de la seconde. On peut ainsi déterminer à l'avance la forme des systèmes liquides qui correspondent aux différents polyèdres, et, sans difficulté, décrire chacun de ces systèmes dans tous ses détails principaux. Il n'est pas un seul cas où les données fournies par ces règles ne rencontrent leur réalisation complète, soit avec le polyèdre type que l'on considère, soit avec un de ses dérivés. Bien plus, telle est la portée de ces règles que, quoi qu'on fasse, elles sont constamment satisfaites avec le tétraèdre, les trois prismes et le dodécaèdre. Quant à l'octaèdre et au décaèdre non réguliers, les systèmes que ces règles donnent ne sont pas les seuls qu'on obtienne avec chacun de ces deux polyèdres.

Les systèmes de lames qu'on peut réaliser avec un même polyèdre admettent, en général, plusieurs formes ou dispositions différentes. Celle qu'ils affectent spontanément dépend, en certains cas, de la position qu'on donne au polyèdre en le retirant du liquide où on l'a plongé; elle dépend aussi quelquefois, pour un même liquide, de la vitesse d'émersion, et, pour une même vitesse d'émersion, de la viscosité du liquide. Une insufflation bien dirigée sur certaines parties permet, d'ailleurs, d'opérer à son gré toutes sortes de transformations, et de passer ainsi successivement par toutes les formes et dispositions que comportent, pour un même polyèdre, les systèmes de lames correspondants. Ce dernier procédé, plus simple et plus sûr qu'aucun autre, nous a constamment réussi. Le parti qu'on en peut tirer est souvent très-utile, comme on le voit par de nombreux exemples.

Nous avons dit tout à l'heure que les polyèdres types étaient les seuls nécessaires à considérer, soit pour établir par le calcul, soit pour constater expérimentalement les lois qui régissent la formation des systèmes liquides en lames minces. Cela fait, on est maître de multiplier à son gré les expériences,

en choisissant comme on veut les polyèdres que l'on croit les plus propres à donner des résultats curieux. Le champ qui s'ouvre alors est illimité. Nous nous sommes borné, dans la troisième section, à un seul exemple, celui de l'octaèdre régulier. Il offre, pensons-nous, un intérêt tout exceptionnel. Quelques détails permettront d'en juger.

Si l'on remarque d'abord que les arêtes solides issues de chacun des sommets de l'octaèdre régulier ne sont plus au nombre de trois, comme dans les polyèdres types, mais bien au nombre de quatre, on peut en inférer immédiatement que, au lieu d'une seule arête liquide issue de chaque sommet solide, on doit en avoir deux. Tel est aussi le résultat fourni par l'expérience. Il s'ensuit que les choses se passent comme s'il y avait en chaque sommet unique de l'octaèdre deux sommets distincts, respectivement contigus à deux des quatre arêtes solides correspondantes, et réunis l'un à l'autre par une arête solide supplémentaire d'une extrême petitesse. Il s'ensuit, en même temps, que l'octaèdre donné se trouve remplacé *virtuellement* par un octaèdre dont les sommets sont au nombre de douze et dont toutes les faces n'ont plus trois côtés seulement, mais bien de trois à six côtés.

Soit Π l'octaèdre donné et Π_1 celui qui s'y substitue *virtuellement* d'après les indications précédentes. Les arêtes solides supplémentaires, qui distinguent l'octaèdre Π_1 de l'octaèdre Π, pouvant se disposer de plusieurs façons différentes, il est visible qu'à chacune de ces dispositions correspond pour Π_1 une détermination particulière. On conçoit, d'ailleurs, que si l'on forme, à l'intérieur de l'octaèdre Π le polyèdre laminaire correspondant Π'', et qu'on fasse abstraction dans celui-ci de la courbure de ses faces et de ses arêtes, on doit y trouver une représentation naturelle de l'octaèdre Π_1. L'expérience s'accorde avec ces déductions, et fournit ainsi d'elle-même le moyen le plus simple de se figurer l'octaèdre Π_1 dans chacune des déterminations qu'il comporte.

Parmi les octaèdres qui correspondent aux déterminations diverses et très-nombreuses du polyèdre Π'', il en est trois qu'il convient de signaler dès à présent. On les distingue des autres en ce qu'ils ont chacun une face hexagonale et qu'à cette face est opposée, pour le premier, une face de même espèce ; pour le second, une face pentagonale ; pour le dernier, une face quadrangulaire et trapézoïdale. Ce qui les caractérise plus particulièrement, c'est qu'en choisissant, pour la supprimer la première, cette même face hexagonale, ils

satisfont aux règles générales formulées dans la première section et rappelées ci-dessus. De là résultent, en conséquence, trois des systèmes que les lames fournies par l'octaèdre régulier permettent de réaliser à l'état d'équilibre stable. Les parties libres de ces trois systèmes sont respectivement, pour le premier, une lame hexagonale; pour le second, une lame pentagonale et une arête liquide; pour le troisième, deux arêtes liquides et une lame quadrangulaire de forme trapézoïdale.

Indépendamment des trois systèmes dont il vient d'être fait mention, il en est deux autres qu'on peut aussi réaliser, soit directement, soit en partant pour chacun de la détermination spéciale qui lui correspond dans le polyèdre Π''. L'un de ces systèmes s'obtient toujours très-aisément et peut servir de point de départ pour arriver successivement à tous les autres. Il a son analogue dans l'un de ceux qui correspondent à l'octaèdre type de la deuxième section, les parties libres s'y réduisant à quatre arêtes liquides issues du centre de figure. L'autre système, bien qu'il se produise quelquefois spontanément, exige, en général, plusieurs transformations préalables. Les parties libres sont deux arêtes liquides et un quadrilatère. Comparées à celles qui leur correspondent dans le dernier des trois systèmes précédemment décrits, elles en diffèrent en ce que la lame trapézoïdale est remplacée par un losange curviligne et que, au lieu de partir des extrémités d'un même côté du trapèze, les arêtes libres extérieures partent de deux des sommets opposés du losange. Lorsqu'on voit ce système, il semble, au premier abord, qu'il soit très-compliqué. Il présente, en réalité, une symétrie remarquable, et telle est cette symétrie que le losange comporte trois directions comme les faces de l'octaèdre, et qu'il suffit de l'action du souffle pour le faire passer successivement de l'une à chacune des deux autres.

Ce simple aperçu indique suffisamment que le polyèdre Π'' doit comporter ici des dispositions très-variées. Les unes s'obtiennent directement, les autres au moyen d'une ou plusieurs transformations successives. Elles sont, pour la plupart, extrêmement curieuses. Nous citerons comme une des plus remarquables celle où le polyèdre Π'' affecte la forme hexaédrique, ses faces réduites au nombre de six étant toutes égales, de courbure sphérique et de même rayon.

STABILITÉ DES SYSTÈMES LIQUIDES

EN LAMES MINCES.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

1. On connaît les expériences si curieuses de M. Plateau * sur les lames qui se développent à l'intérieur d'une carcasse en fil de fer, lorsque, après avoir plongé cette carcasse dans de l'eau de savon, ou, mieux encore, dans un liquide composé d'eau de savon et de glycérine, on l'en retire avec précaution. Les systèmes formés par ces lames présentent, en général, des arêtes liquides et des sommets situés sur ces arêtes en leurs points de concours. Parmi les sommets ainsi déterminés, on doit distinguer ceux qui restent en dehors de toute arête solide. La liberté qu'ils ont de céder en tous sens aux actions qui les sollicitent leur assigne évidemment un rôle considérable. Nous les désignerons sous le nom de *sommets libres*.

Plusieurs conditions sont nécessaires pour que les systèmes obtenus se maintiennent et persistent dans la forme qu'ils affectent. C'est ainsi, par exemple, que, *dans le cas de trois lames aboutissant à une même arête liquide*, et *dans celui de quatre arêtes liquides concourant en un même sommet libre*, ces lames et ces arêtes doivent se couper entre elles sous des angles égaux.

* *Recherches expérimentales et théoriques sur les figures d'équilibre d'une masse liquide sans pesanteur*, 5^{me} et 6^{me} séries. (Mémoires de l'Académie royale de Belgique, tome XXXIII, année 1861.)

L'expérience semble indiquer, d'ailleurs, qu'il n'y a point de persistance possible, lorsque le nombre des lames partant d'une même arête liquide n'est pas restreint à trois et que celui des arêtes liquides issues d'un même sommet libre n'est pas limité à quatre.

Le principe de l'égalité des angles *dans chacun des deux cas mentionnés ci-dessus* ne se déduit pas seulement de l'observation. M. Plateau le démontre en s'appuyant sur le théorème fondamental exposé par Laplace dans la théorie mathématique de la capillarité. Il fait remarquer, en outre, qu'on arriverait à la même conclusion, si l'on considérait les lames liquides comme des membranes tendues. Ce dernier résultat est en quelque sorte évident de lui-même *. On n'en peut pas dire autant du fait observé quant au nombre des lames qui aboutissent à une même arête liquide et à celui des arêtes liquides qui concourent en un même sommet libre. Si ces nombres sont limités respectivement, le premier à trois, le second à quatre, l'expérience seule conduit à l'admettre. Rien n'indique à l'avance et l'on n'a pas établi qu'il n'en saurait être autrement. Nous avons cherché et réussi, pensons-nous, à combler ici cette lacune.

Le principe sur lequel nous nous appuyons est énoncé par M. Plateau, dans l'aperçu suivant placé à la fin de son dernier mémoire sur les figures d'équilibre d'une masse liquide sans pesanteur :

« Je reviendrai de nouveau sur les systèmes laminaires pour en envisager » la théorie sous un point de vue plus général. En effet, ainsi que je l'ai » déjà fait remarquer, les lames liquides qui les composent peuvent être » assimilées à des membranes tendues, et dès lors, on le conçoit, chaque sys- » tème se disposera de manière que la somme de toutes ses surfaces soit un » minimum **. »

* Ainsi posée, la question se réduit à l'équilibre de trois forces égales situées dans un même plan. L'équilibre n'étant possible qu'autant que ces forces font entre elles des angles égaux, on en déduit aisément que, dans le cas de quatre arêtes issues d'un même sommet libre, c'est aussi sous des angles égaux que ces arêtes doivent se couper deux à deux.

** Nous avons prié M. Plateau de vouloir bien nous donner quelques explications sur la portée de ce passage. Voici la réponse qu'il nous a faite, en nous autorisant à la reproduire ici :

« En écrivant ces lignes, mon intention était simplement de donner, comme exemples, les » systèmes du prisme triangulaire et de l'octaèdre régulier. J'aurais montré, par le calcul,

Admettons, comme on le sait d'ailleurs, que l'aire de chaque lame doive être un minimum. Il ne s'ensuit pas clairement que la somme des aires présentées par l'ensemble des lames soit assujettie à remplir cette même condition. Or, c'est en cela que consiste le principe introduit par M. Plateau dans le passage que nous venons de reproduire; il convient donc qu'avant d'en déduire les lois qu'il implique, nous le mettions hors de doute, soit par la considération des membranes tendues, soit, préférablement, par la théorie de l'attraction moléculaire.

L'assimilation des lames liquides à des membranes tendues semble se prêter mieux que la théorie de Laplace à démontrer tout d'abord le principe de l'égalité des angles et celui du minimum des aires. Il suffit, en effet, que la tension soit partout la même pour que ces deux principes en résultent immédiatement, le premier, *dans l'hypothèse des limitations numériques observées,* le second, *d'une façon générale.*

Dans cet ordre d'idées tout se réduit à faire voir que la tension des lames est indépendante de leur courbure et demeure invariable, sinon d'une manière absolue, au moins pour tout système de lames communiquant entre elles librement. Lorsqu'il s'agit d'une seule et même lame, dont chacune des faces est pressée uniformément, et qui présente, en chacun de ses points même courbure moyenne *, il est visible que la tension doit être partout la même. S'agit-il ensuite de plusieurs lames se reliant entre elles par des arêtes liquides? On conçoit que, avec la liberté de se répartir uniformément partout, les molécules doivent se disposer comme dans le cas d'une lame unique. On peut donc admettre que la tension ne varie pas sensiblement d'une lame à une autre.

» qu'en les prenant tels qu'ils se produisent, ils satisfont à la loi du minimum des aires, en ce
» sens que la somme des surfaces augmente lorsque, toutes choses égales d'ailleurs, on fait varier
» exclusivement, pour le premier, la longueur de la droite qui unit les sommets des deux
» pyramides laminaires; pour le second, la longueur commune aux quatre arêtes issues du
» centre de figure. Néanmoins, tout en admettant qu'il y avait nécessairement dépendance entre
» les lois que j'avais observées et celle du minimum des aires, je n'apercevais aucun moyen
» d'aborder par l'analyse, et dans toute sa généralité, le problème de cette dépendance. »

* L'intervention de la pesanteur peut et doit modifier cet état de choses; elle n'altère pas sensiblement les conditions générales du phénomène, lorsque l'étendue des lames et leur épaisseur ne dépassent pas certaines limites.

Si nous nous bornions à rappeler que, dans les phénomènes capillaires, la théorie de Laplace implique, comme conséquence des changements de niveau, l'existence d'une tension en chacun des points superficiels des différents ménisques, on objecterait peut-être que le droit d'assimiler les lames liquides à des membranes tendues n'est pas suffisamment établi. Pour lever cette objection, nous essayerons de montrer que, dans le cas d'une masse liquide soumise exclusivement à l'action de ses propres parties, les phénomènes connus de l'attraction moléculaire sont nécessairement accompagnés d'une tension superficielle.

Soit une masse liquide M soustraite à l'action de la gravité, libre d'ailleurs et affectant, en conséquence, la forme sphérique. Si nous désignons par e le rayon d'activité de l'attraction moléculaire et par $R + e$ le rayon de la masse M, on sait qu'en s'en tenant aux circonstances principales du phénomène, on peut considérer cette masse comme composée de deux parties distinctes, dont l'une sert d'enveloppe à l'autre et la presse uniformément. On sait, en outre, que l'épaisseur e de l'enveloppe est négligeable par rapport à R et que la pression exercée sur la partie enveloppée est représentée, pour l'unité de surface, par le binôme

$$A + \frac{B}{R},$$

A et B étant des constantes qui dépendent de la nature du liquide considéré.

Imaginons qu'on coupe la sphère M par un plan diamétral P et qu'on supprime l'un des deux hémisphères ainsi obtenus. L'équilibre préexistant ne sera pas troublé, si l'on solidifie l'hémisphère conservé et qu'on applique en chacun des points du plan P une force égale à la force élastique que l'hémisphère supprimé exerçait normalement en ce point.

Distinguons dans la section P, d'une part, le cercle au rayon R, d'autre part, le segment annulaire qui enveloppe ce cercle et s'étend au delà jusqu'à la distance très-petite e. La force élastique développée, pour l'unité de surface, en chacun des points du cercle au rayon R a évidemment pour mesure la pression transmise $A + \frac{B}{R}$ diminuée de l'attraction moléculaire A exercée par l'hémisphère supprimé sur l'hémisphère conservé. Il s'ensuit que la ré-

sultante des forces à appliquer sur la première partie de la section P est une pression normale ayant pour mesure le produit

$$\pi.R^2.\frac{B}{R} = \pi.R.B.$$

Mais, d'un autre côté, l'équilibre subsiste. Il faut donc que la résultante des forces à appliquer sur le segment annulaire soit égale et contraire à la précédente. Cela revient à dire qu'*il y a tension superficielle,* puisque autrement les forces élastiques correspondantes au segment annulaire n'agiraient point en sens inverse des autres et ne pourraient pas les équilibrer. Soit θ la valeur moyenne de la tension dont il s'agit; la tension totale a pour expression

$$2\pi Re.\theta$$

et, comme elle doit être égale au produit $\pi.R.B$, on en déduit

$$\theta = \frac{B}{2e} = \text{constante.}$$

Concluons que, pour un même liquide, la tension superficielle est indépendante du rayon R. Ce résultat s'étend de lui-même aux lames sphériques, tant pour l'enveloppe intérieure que pour l'extérieure, et, quant à ces lames, il est confirmé par les expériences de M. Plateau *. Il s'étend aussi sans difficulté à toute masse liquide limitée par des surfaces quelconques d'équilibre, soit que ces surfaces aient partout une courbure moyenne différente de zéro, soit que, comme dans le cas des systèmes liquides en lames minces **, les unes remplissent cette condition et que les autres soient planes ou à courbure moyenne nulle. On voit ainsi comment les déductions précédentes peuvent se justifier et servir de base aux développements ultérieurs.

Veut-on, pour plus de certitude, laisser à l'écart la considération des mem-

* Voir l'ouvrage déjà cité, 3me série, pages 26 et suivantes.

** C'est par des raccordements courbes que les lames liquides se rattachent entre elles et aux arêtes solides. L'étendue de ces raccordements étant toujours excessivement petite, il s'ensuit que leur courbure moyenne doit être assez grande.

branes tendues et parvenir directement au principe du minimum des aires? On peut observer d'abord qu'en restant au point de vue des attractions moléculaires, comme le fait Laplace dans la *Théorie de la capillarité*, on doit admettre qu'il existe une corrélation nécessaire entre les faits expérimentaux rappelés ci-dessus et la condition générale consistant en ce que les surfaces d'équilibre stable ont une étendue minimum pour un même volume enveloppé. Partant de là, on peut en inférer, par voie d'analogie, que la loi générale du phénomène se résout en ce que la somme des aires présentées par les lames est assujettie à être un minimum. Mais ce n'est encore là qu'une induction qui ne saurait suffire. Il nous faut donc procéder avec plus de rigueur.

Reportons-nous à ce que nous avons dit plus haut d'une masse liquide M soustraite à l'action de la gravité et parvenue à l'état d'équilibre. Que cette masse soit tout à fait libre, ou, comme dans les systèmes en lames minces, qu'elle reste adhérente à des arêtes solides extérieures, peu importe : si l'on s'en tient aux circonstances principales du phénomène et qu'on néglige les détails secondaires, on peut toujours la considérer comme composée de deux parties distinctes, dont l'une, sur une épaisseur constante et très-petite, sert d'enveloppe à l'autre et la presse uniformément. On peut, de même, ne tenir aucun compte de l'effet produit par la courbure de l'enveloppe, soit pour augmenter, soit pour diminuer les pressions exercées et transmises. Ces prémisses impliquent évidemment les déductions suivantes :

1° L'écart moléculaire est constant dans la partie enveloppée;

2° L'écart moyen moléculaire est constant dans l'enveloppe et plus grand que dans la partie enveloppée;

3° L'écart moyen général est d'autant plus petit que l'enveloppe présente moins de surface pour une même masse M.

Ces déductions suffisent. En effet, puisque l'attraction moléculaire n'a d'autre tendance et ne peut avoir d'autre effet que de réduire autant que possible les écarts moléculaires, il devient manifeste que *les surfaces d'équilibre stable sont exclusivement celles qui, pour un même volume enveloppé, ont une étendue minimum.*

On observera qu'en procédant comme nous venons de le faire, on résout la question pour tous les cas, y compris, bien entendu, celui des systèmes

liquides en lames minces. Si minces, en effet, que soient les lames d'un système liquide, leur épaisseur excédant de beaucoup le rayon d'activité de l'attraction moléculaire, il est visible que la conclusion précédente s'applique en même temps à chacune de ces lames et à leur ensemble.

Le principe qu'il s'agissait d'établir se trouvant ainsi démontré, on constate aisément que, abstraction faite de l'attraction moléculaire, il subsisterait de même *dans l'hypothèse* d'un liquide dont la surface agirait comme une membrane uniformément tendue. Mais, *dans cette hypothèse,* si l'on désigne par ρ et ρ' les deux rayons de courbure principaux qui correspondent à un point quelconque d'une même surface d'équilibre, il suffit des notions les plus simples pour reconnaître que cette surface doit nécessairement satisfaire à la condition générale

$$\frac{1}{\rho} + \frac{1}{\rho'} = \text{constante.}$$

Il s'ensuit évidemment que cette même condition peut être considérée comme une déduction immédiate du principe énoncé plus haut et qu'en conséquence, tout ici se démontre avec rigueur et simplicité.

Cela posé, voici le double objet que nous nous proposons :

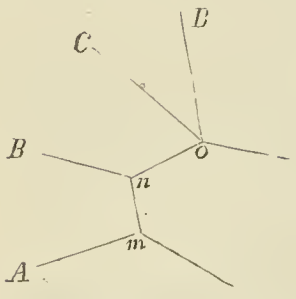
Nous voulons d'abord établir que *la somme des surfaces appartenant à un même système de lames ne peut être un minimum sans impliquer, comme conséquence, les limitations numériques observées par M. Plateau.*

Nous montrerons ensuite comment *l'expérience s'accorde avec les déductions théoriques et les confirme toutes.*

PREMIÈRE PARTIE.

DÉDUCTIONS THÉORIQUES.

Fig. 1.



2. Commençons par résoudre le problème suivant :

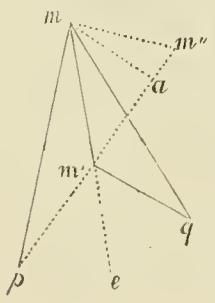
Soient A, B, C, D, etc., des points situés dans un même plan P et *donnés en nombre ainsi qu'en position.*

Soient *m, n, o,* etc., d'autres points pris dans le plan P et *choisis,* comme on veut, *quant à leur nombre et à leur position.*

Concevons que les points *m, n, o,* etc., soient reliés entre eux et aux points A, B, C, D, etc., par des segments de droite. Concevons, en outre, que ces segments soient déterminés en nombre de telle manière qu'il en parte *un* de *chacun* des points A, B, C, D, etc., et *trois au moins* de *chacun* des points *m, n, o,* etc.

Cela posé, on demande *quelles sont les conditions à remplir pour que la somme des segments ainsi déterminés soit un minimum.*

Fig. 2.



Prenons un quelconque des points *m, n, o,* etc., le point *m,* par exemple, et supposons que parmi les segments issus de ce point, il y en ait deux dont l'angle soit inférieur à 120°.

Soient *mp, mq* ces deux segments ; *pmq* l'angle qu'ils font entre eux ; *me* la bissectrice de cet angle ; *m'* un point pris sur *me* et *assez rapproché* du point *m* pour que *le plus grand* des deux angles *pm'e, qm'e* soit *tout au plus* égal à 60°.

Prolongeons la droite pm' d'une quantité $m'm''$ égale à $m'm$, et du point m abaissons sur $m'm''$ la perpendiculaire ma.

Le triangle $m'mm''$ étant isocèle et l'angle $mm'm''$ ayant *tout au plus* 60° d'ouverture, on voit immédiatement que chacun des deux angles égaux $m'mm''$, $m'm''m$ est *tout au moins* de 60°. Il s'ensuit que l'angle $mm''m'$ est égal ou supérieur à l'angle $mm'm''$ et que si le point a ne tombe pas au milieu du segment $m'm''$, il est plus près du point m'' que du point m'. On peut écrire, en conséquence,

$$m'a \underset{=}{\overset{>}{\text{ou}}} \frac{mm'}{2}.$$

On a, d'ailleurs,

$$pm' + m'a < pm.$$

De là résulte évidemment

$$pm' + \frac{mm'}{2} < pm. \tag{1}$$

On trouverait de même

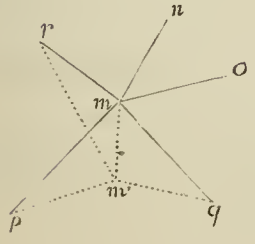
$$qm' + \frac{mm'}{2} < qm, \tag{2}$$

et, ajoutant membre à membre les inégalités (1) et (2),

$$pm' + qm' + mm' < pm + qm. \tag{3}$$

L'inégalité (3) résout, ainsi qu'on va le voir, la question proposée.

Fig. 3.



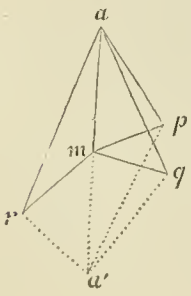
Supposons qu'il y ait plus de trois segments aboutissant en m, ou *s'il y en a trois seulement*, qu'ils fassent entre eux des angles inégaux. Il suit de là que, parmi ces segments, il en est deux *au moins* qui se coupent sous un angle inférieur à 120°. Soient mp, mq ces deux segments. Le point m' étant déterminé comme tout à l'heure, et *aussi*

rapproché qu'on le veut du point m, on peut, sans rien changer au reste de la figure, substituer aux deux segments pm, qm les trois segments pm', qm', nm'. De là résulte une diminution de longueur dans la somme des segments à considérer, et s'il ne reste en m que deux segments, représentés respectivement l'un par rm, l'autre par $m'm$, on peut les remplacer par le segment unique rm'. On voit ainsi quelles sont les conditions à remplir pour le *minimum* cherché. Elles s'énoncent comme il suit :

Il faut que les segments issus de chacun des points m, n, o, *etc., soient restreints au nombre de trois et qu'ils fassent entre eux des angles de 120°.*

3. Le problème que nous nous étions d'abord proposé se trouvant ainsi résolu, considérons un polyèdre quelconque Π dont les arêtes soient solidifiées et subsistent seules. Par hypothèse, de chacune de ces arêtes part une lame liquide dirigée vers l'intérieur du polyèdre, et les lames ainsi déterminées se rattachent entre elles, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une ou de plusieurs lames additionnelles entièrement dégagées de toute arête solide. L'équilibre du système formé par toutes ces lames exige évidemment qu'elles se coupent *au moins trois à trois* suivant une même arête liquide. Cela posé, pour que l'équilibre soit stable, il ne suffit pas que chaque lame soit un *minimum* entre les limites qui la circonscrivent, il faut en outre, avons-nous dit, que la somme totale de leurs aires soit elle-même un *minimum*. Partons de cette dernière condition qui comprend la première, et cherchons les lois qui en résultent, en raisonnant d'abord comme si toutes les lames à considérer étaient et restaient planes. Nous verrons ensuite comment la solution obtenue s'étend d'elle-même au cas général d'un système où chaque lame prise isolément n'est assujettie qu'à présenter en chacun de ses points une même courbure moyenne.

Fig. 4.



Soit B une arête liquide projetée en m sur un plan P perpendiculaire à cette arête. Soient en même temps mp, mq, mr, etc., les intersections de ce plan avec les lames issues de l'arête B. Prenons sur l'arête B deux points a, a' équidistants du point m et joignons-les par des droites à chacun des points p, q, r, etc., ceux-ci pouvant, comme les points a, a', être aussi rapprochés qu'on le veut du point m.

Fixons par la pensée chacun des segments ap, $a'p$; aq, $a'q$; ar, $a'r$; etc., et, sans rien changer aux lames et parties de lames situées en dehors de ces segments, modifions par un déplacement du point m dans le plan P la somme des aires triangulaires amp, $a'mp$; amq, $a'mq$; amr, $a'mr$; etc. S'agit-il en particulier des deux triangles amp, $a'mp$? Quelle que soit la vitesse du point m au sortir du lieu qu'il occupe, elle se décompose en deux autres, l'une exprimée par la différentielle $d(mp)$ et dirigée suivant mp, l'autre u normale à la première et située dans le plan P. Si la composante u subsistait seule, les triangles amp, $a'mp$ devraient être considérés comme sortant des lieux qu'ils occupent en tournant, le premier autour de la droite pa, le second autour de la droite pa'. Ce n'est donc qu'en vertu de la composante $d(mp)$ que la surface de ces triangles augmente ou diminue à l'origine de leur déplacement et de leur déformation simultanés. La vitesse moyenne de circulation qui résulte pour les droites am et $a'm$ de la composante $d(mp)$ est évidemment $\frac{1}{2}\,d(mp)$. On peut et l'on doit écrire, en conséquence,

$$d(amp + a'mp) = am.\,d(mp).$$

On trouverait de même

$$d(amq + a'mq) = am.\,d(mq)$$

et ainsi de suite pour chaque couple des triangles à considérer. De là résulte, pour la différentielle de la somme des aires de tous ces triangles,

$$(4) \qquad d(amp + a'mp + amq + a'mq + \text{etc.}) = am.\,d[mp + mq + \text{etc.}].$$

Nous savons déjà que la différentielle $d(mp + mq + \text{etc.})$ est nécessairement négative toutes les fois que les segments issus du point m dans le plan P ne sont pas restreints au nombre de trois, ou qu'étant restreints à ce nombre, ils ne font pas entre eux des angles de 120°. L'équation (4) prouve qu'il en est de même de la différentielle $d(amp + a'mp + amq + a'mq + \text{etc.})$. Nous pouvons donc poser immédiatement la déduction suivante :

Dans tout système de lames planes l'aire totale ne peut être un minimum

que si les lames, aboutissant à une même arête liquide, se réduisent à trois et font entre elles des angles égaux.

Cette déduction ne cesse pas de subsister lorsqu'on rapproche indéfiniment du point m les points a, a', p, q, r, etc. Cela revient à dire que, pour l'étendre au cas des lames courbes, il suffit de prendre sur les intersections à considérer des arcs assez petits pour qu'on puisse y substituer les tangentes ou les cordes correspondantes. Nous dirons donc plus généralement :

Dans tout système de lames l'aire totale n'est un minimum et, par conséquent, l'équilibre ne peut être stable que si les lames aboutissant à une même arête liquide se réduisent à trois et se coupent deux à deux sous l'angle de 120°.

4. Revenons au cas des lames planes et cherchons, d'après ce qui précède, les lois relatives au nombre et à la disposition des arêtes qui concourent en un même *sommet libre*.

Soit O l'un quelconque de ces sommets. On sait que de chaque arête issue de ce point partent trois lames se coupant deux à deux sous l'angle de 120°. Cela suffit pour reconnaître immédiatement que les lames se disposent les unes par rapport aux autres de manière à former autour du sommet O une suite d'angles solides convexes, accolés deux à deux par une face commune et trois à trois par une même arête. Les angles solides ainsi formés ont au moins trois faces : ils peuvent en avoir quatre ou cinq, mais pas davantage. En effet, A étant l'un de ces angles, si, d'un point pris à son intérieur, on abaisse une perpendiculaire sur chacune de ses faces, ces perpendiculaires déterminent un angle solide convexe A', ayant le même nombre de faces que l'angle A et dont les angles plans sont chacun de 60°. Or dans tout angle solide convexe la somme des angles plans est nécessairement inférieure à 360°. L'angle A' ne peut donc avoir que cinq faces au plus, et, par conséquent, tel est aussi le nombre *maximum* des faces que l'angle A peut présenter.

Prenons le sommet O pour centre d'une surface sphérique *, et considérons

* On ne perdra pas de vue qu'on dispose du rayon de cette surface et qu'on peut le prendre aussi petit qu'on veut, sans modifier en rien les déductions ultérieures.

les intersections faites dans cette surface par les lames issues du sommet O. Ces intersections découpent la sphère en une suite de polygones convexes dont les angles sont tous de 120°. Il résulte d'ailleurs, des détails précédents, que chacun de ces polygones est nécessairement un triangle, un quadrilatère ou un pentagone.

Désignons par z le nombre des triangles ainsi obtenus; par y celui des quadrilatères; par x celui des pentagones.

On sait que tout polygone sphérique convexe a pour mesure de sa surface la somme de ses angles diminuée d'autant de fois deux droits qu'il a de côtés moins deux. Il en résulte que, en représentant par l'unité la surface totale de la sphère, celle du triangle trirectangle est donnée par la fraction $\frac{1}{8}$ et fournit ainsi l'équivalent d'un droit. On déduit aisément de là que les surfaces des polygones à considérer sont exprimées respectivement, par $\frac{1}{4}$ pour le triangle, par $\frac{1}{6}$ pour le quadrilatère, par $\frac{1}{12}$ pour le pentagone. Mais d'un autre côté la sphère est découpée par hypothèse, de manière à présenter x pentagones, y quadrilatères et z triangles. On a donc évidemment

$$\frac{x}{12} + \frac{y}{6} + \frac{z}{4} = 1$$

ou, ce qui revient au même,

$$x + 2y + 3z = 12. \tag{5}$$

Les inconnues x, y, z n'admettant que des valeurs entières et positives, l'équation (5) ne comporte, en conséquence, qu'un nombre limité de solutions. Elle permet ainsi de faire un premier pas vers le but proposé.

5. Les considérations précédentes ne fournissent pas seulement l'équation (5) du n° 4, elles permettent aussi de déterminer en fonction des quantités x, y et z le nombre des arêtes correspondantes.

Les lames issues du sommet O sont au nombre de trois pour chaque triangle, de quatre pour chaque quadrilatère, de cinq pour chaque pentagone. Nous savons, d'ailleurs, que chaque lame détermine un côté commun à deux de ces polygones. Il suit de là que le nombre total N des lames issues du sommet O a pour expression générale :

$$N = \tfrac{1}{2}[5x + 4y + 3z].$$

Soit n le nombre des arêtes fournies par les intersections de ces lames. A chaque arête correspond trois lames et chaque lame comprend à la fois les deux arêtes qui la limitent latéralement. On voit par là que l'expression précédente a pour équivalent le produit $\frac{3n}{2}$. Il s'ensuit, d'ailleurs, que le nombre des arêtes liquides issues d'un même *sommet libre* est nécessairement pair, et que l'on a généralement

$$5x + 4y + 3z = 3n$$

ou, eu égard à l'équation (5) du n° 4,

$$n = 20 - 2y - 4z. \tag{6}$$

6. Reportons-nous à l'équation (5) du n° 4. Les seules valeurs qu'elle permette d'admettre pour z sont évidemment 0, 1, 2, 3, 4. Résolvons, pour chacune de ces valeurs, les équations (5) et (6). On a :

1° pour $z = 4$, $x + 2y = 0$, $n = 4 - 2y$;

2° pour $z = 3$, $x + 2y = 3$, $n = 8 - 2y$;

3° pour $z = 2$, $x + 2y = 6$, $n = 12 - 2y$;

4° pour $z = 1$, $x + 2y = 9$, $n = 16 - 2y$;

5° pour $z = 0$, $x + 2y = 12$, $n = 20 - 2y$;

et, dans tous les cas,

$$N = \frac{5n}{2}.$$

Le reste s'achève sans difficulté et conduit aux résultats consignés dans le tableau suivant.

TABLEAU GÉNÉRAL

DE TOUTES LES COMBINAISONS FOURNIES PAR L'ÉQUATION 5.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMBRES des polygones sphériques entrant dans chaque combinaison.			NOMBRES des arêtes et lames liquides correspondantes.		POLYÈDRES CORRESPONDANTS. — Ces polyèdres sont déterminés par la condition d'avoir pour arêtes les cordes des arcs suivant lesquels les lames liquides viennent couper la sphère.
	TRIANGLES.	QUADRILATÈRES.	PENTAGONES.	ARÊTES.	LAMES.	
1	4	0	0	4	6	Tétraèdre régulier.
2	3	0	3	8	12	
3	3	1	1	6	9	
4	2	0	6	12	18	
5	2	1	4	10	15	
6	2	2	2	8	12	
7	2	3	0	6	9	Prisme droit à base triangulaire.
8	1	0	9	16	24	
9	1	1	7	14	21	
10	1	2	5	12	18	
11	1	3	3	10	15	
12	1	4	1	8	12	
13	0	0	12	20	30	Dodécaèdre régulier.
14	0	1	10	18	27	
15	0	2	8	16	24	Polyèdre irrégulier (2 faces planes, 8 gauches).
16	0	3	6	14	21	
17	0	4	4	12	18	Polyèdre irrégulier (4 faces planes, 4 gauches.)
18	0	5	2	10	15	Prisme droit à base pentagonale.
19	0	6	0	8	12	Cube ou hexaèdre régulier.

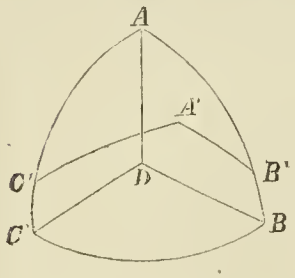
Les combinaisons qui figurent dans ce tableau sont les seules à considérer, puisque seules elles satisfont à l'équation 5. On conçoit d'ailleurs que, bien qu'elles satisfassent à cette équation, il ne s'ensuit pas qu'elles soient

toutes possibles *. En fait, il en est sept seulement qui puissent se réaliser d'après les conditions du n° 4 : ce sont celles que nous avons distinguées des autres, en désignant pour elles les polyèdres qui leur correspondent. Elles portent les numéros d'ordre 1, 7, 13, 15, 17, 18, et 19.

7. Nous venons de dire que les combinaisons 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14 et 16 étaient toutes impossibles. Cette assertion doit être justifiée. Avant de le faire, commençons par établir les théorèmes sur lesquels nous nous appuyerons.

Pour éviter, dans ce qui suit, des répétitions inutiles, il sera entendu que la lettre T désigne exclusivement le triangle équilatéral dont les angles sont de 120°. Quant aux quadrilatères et aux pentagones dont les angles ont tous cette même valeur, nous affecterons la lettre Q aux premiers, la lettre P aux seconds. Lors donc que nous désignerons par Q ou par P un polygone sphérique, nous exprimerons par là qu'il s'agit d'un quadrilatère ou d'un pentagone dont les angles sont tous de 120°.

Fig. 5.



Soit d'abord ABC le triangle T. Sa surface est exprimée par la fraction $\frac{1}{4}$; et si, d'un côté, les arcs bissecteurs DA, DB, DC, le découpent en trois triangles égaux DAB, DBC, DCA, de l'autre les prolongements de ces mêmes arcs déterminent trois autres triangles égaux entre eux, et comprenant ensemble le reste de la surface sphérique. De là découlent immédiatement les déductions suivantes :

1° La surface du triangle BCD est exprimée par la fraction $\frac{1}{12}$. Elle équivaut, en conséquence, à celle de chacun des pentagones P ;

2° Les triangles formés par les prolongements des arcs bissecteurs CA, CB, CD, sont tous égaux au triangle T ;

3° Les arcs CB, CD, sont supplémentaires, et, comme le premier l'emporte sur le second, on a nécessairement :

* L'équation (5) comprend les solutions cherchées. Elle comprend, en outre, des solutions étrangères. Il est clair, en effet, qu'elle ne cesse pas de subsister, lorsque, sans changer leur somme, on attribue des valeurs inégales aux angles des divers polygones à considérer, et qu'on maintient d'ailleurs les autres conditions.

$$CD < \frac{\pi}{2}.$$

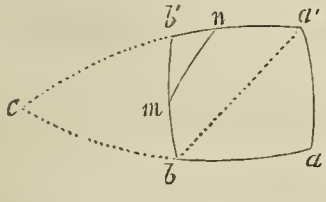
Donnons-nous un pentagone P, représenté par A′B′BCC′, et *supposons* que le côté BC de ce pentagone soit égal à celui du triangle T. Si l'on considère isolément les arcs CD, C′A′, assujettis tous deux à couper sous un même angle aigu de 60° l'arc CC′A, et qu'on les prolonge de gauche à droite jusqu'à leur rencontre, il est aisé de voir que l'arc C′A′ ne peut couper l'arc CD qu'à une distance du point C supérieure à $\frac{\pi}{2}$. Or l'arc CD est inférieur à cette même limite : il est donc enveloppé par l'arc C′A′. On verrait de la même manière que l'arc BD est enveloppé par l'arc B′A′. Il suit de là que le triangle BCD est compris tout entier dans le pentagone A′B′BCC′, ce qui est contradictoire, puisque, *par hypothèse,* ce triangle et ce pentagone doivent avoir même surface.

De là résulte un premier théorème énoncé comme il suit :

Théorème Ier. *Il n'est aucun pentagone* P *ayant un côté égal à celui du triangle* T.

Soit maintenant *abb′a′* un quelconque des quadrilatères Q. On voit aisément que dans ce quadrilatère les côtés opposés sont égaux, et que l'arc *a′b* le coupe par moitié. On sait, d'ailleurs, que sa surface est exprimée par la fraction $\frac{1}{6}$. Il suit de là que la surface du triangle *aba′* est exprimée par la fraction $\frac{1}{12}$ et qu'elle équivaut, en conséquence, à celle des pentagones P.

Fig. 6.



Prenons un pentagone P représenté par *abmna′* et *supposons* que les côtés *ab, aa′* de ce pentagone appartiennent en même temps à l'un des quadrilatères Q. S'il en est ainsi, les aires *aba′, abmna′* sont équivalentes, et il faut nécessairement que l'arc *mn* coupe l'arc *a′b* en deux points compris l'un et l'autre entre les extrémités *b* et *a′*. Mais, dans cette hypothèse, l'arc *a′b* serait plus grand que π, et la somme des côtés du quadrilatère *abb′a′* l'emporterait sur une circonférence de grand cercle. Cette conséquence étant absurde, on a cet autre théorème :

Théorème II. *Il n'est aucun pentagone* P *qui ait pour côtés adjacents les deux côtés d'un même quadrilatère* Q.

8. Sans rien changer à la dernière figure, prolongeons jusqu'à leur rencontre en c les arcs ab, $a'b'$, et désignons par A l'angle aca'. La formule connue

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C . \cos \alpha \tag{7}$$

s'applique au triangle aca', en posant

$$\cos B = \cos C = -\frac{1}{2}, \quad \sin B = \sin C = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

et remplaçant α par aa'. On trouve ainsi

$$\cos A = -\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cos aa', \tag{8}$$

et l'on voit aisément que l'équation (8) fixe à 60° la limite inférieure de l'angle A.

Suppose-t-on que l'angle A soit de 120°? L'arc aa' devient le côté du triangle T et l'on déduit de l'équation (8)

$$\cos aa' = -\frac{1}{3} . \tag{9}$$

Imaginons que l'on ait en $abmna'$ un pentagone P, construit sur un côté donné aa'. Pour qu'il en soit ainsi, il faut que l'arc aa' reste inférieur au côté du triangle T. Eu égard aux équations (8) et (9), cette condition fixe à 120° la limite supérieure de l'angle A.

Le côté aa' étant donné, par hypothèse, il en est de même des côtés ac, $a'c$ et de l'angle A. Désignons par ω l'angle $bb'a'$ et par x le côté ab.

La formule (7) s'applique au triangle bcb' en posant $B = \pi - \omega$, $C = 60°$, et remplaçant α par bb'. On trouve ainsi,

$$\cos A = \frac{\cos \omega}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega . \cos bb',$$

et, par suite,

$$\cos bb' = \frac{2\cos A - \cos\omega}{\sqrt{3}.\sin\omega}. \tag{10}$$

Si, toutes choses égales d'ailleurs, on permute entre eux les angles A et $\pi - \omega$, le côté $bc = ac - x$ se substitue au côté bb', et l'on a

$$\cos(\pi - \omega) = -\frac{\cos A}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}\sin A \cos(ac - x). \tag{11}$$

Différenciées par rapport aux variables ω et x, les équations (10) et (11) donnent respectivement, la première

$$d(bb') = -\frac{1 - 2\cos A\cos\omega}{\sqrt{3}.\sin^2\omega\sin bb'}\,d\omega, \tag{12}$$

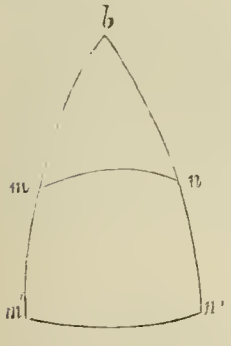
la seconde

$$d\omega = \frac{\sqrt{3}}{2}\frac{\sin A\sin(ac-x)}{\sin\omega}\,dx, \tag{13}$$

l'angle A restant compris entre 60° et 120°, ce qui revient à dire que le produit 2 cos A reste compris entre + 1 et — 1 *.

Les équations (12) et (13) montrent, celle-ci que l'angle ω croît avec x, celle-là que l'arc bb' diminue en même temps que l'angle ω augmente. Concluons que l'arc bb' devient de plus en plus petit à mesure que l'arc ab est pris de plus en plus grand.

Fig. 7.



Il est visible, d'un autre côté, que l'arc $b'm$ croît avec l'angle ω et, par conséquent, avec l'arc ab. Soit, en effet, $m'n'$ l'arc de grand cercle ayant son pôle en b'. Lorsque l'angle ω croît (les angles $b'mn$ et $b'nm$ conservant chacun la valeur de 60°) la surface du triangle $b'mn$ augmente *de la même quantité* que celle du triangle birectangle $b'm'n'$. Il faut donc nécessairement que l'arc $b'm$ croisse en même temps que l'angle ω.

* Si l'on voulait déterminer *a priori* les limites entre lesquelles l'angle ω peut varier, on reconnaîtrait aisément que l'une est zéro, l'autre 120°.

Nous venons d'établir, pour le cas où l'arc *ab* change en croissant, qu'il y a, en même temps, diminution de l'arc *bb'* et augmentation de l'arc *b'm*. Il en résulte évidemment et *a fortiori* que l'arc *ab* ne peut augmenter sans que l'arc *bm* ne diminue. De là résulte, en conséquence, le théorème suivant :

Théorème III. *Étant donnés deux pentagones* P *ayant un côté commun* a *et dont les côtés suivants sont, pour l'un* b, c, *etc., pour l'autre* b', c', *etc., le côté* b *ne peut être supérieur au côté* b' *sans que le côté* c *ne soit inférieur au côté* c' *et réciproquement.*

9. Les théorèmes I, II, III des numéros 7 et 8 suffisent, ainsi qu'on va le voir, à l'objet que nous avons actuellement en vue.

Considérons en premier lieu les combinaisons 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12. Chacune de ces combinaisons comprend, au moins, un triangle T et un pentagone P, c'est-à-dire deux figures qui, d'après le théorème I^er^ du n° 7, n'admettent pas de côté commun, et qui, par conséquent, ne peuvent point se juxtaposer. Comment passer de ce triangle à ce pentagone? comment combler, dans tous les sens, l'intervalle qui les sépare nécessairement? Il faudrait pour cela des polygones qui s'accoleraient entre eux et au triangle T, de manière à former un ensemble dont le contour extérieur n'aurait aucun côté qui demeurât égal à celui de ce même triangle. On voit aisément que les polygones dont on dispose ne permettent en aucun cas de satisfaire à cette condition. Nous pouvons donc poser dès à présent la conclusion suivante :

Les combinaisons 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12 *sont toutes impossibles.*

Considérons, en second lieu et successivement, chacune des deux combinaisons 14 et 16.

La combinaison 14 comprend un quadrilatère Q et dix pentagones P. Elle exige qu'on accole quatre pentagones P au quadrilatère Q et qu'entre ces pentagones on en place quatre autres. Le vide restant est un quadrilatère Q qu'il faudrait découper en deux pentagones P, ce qui est évidemment impossible.

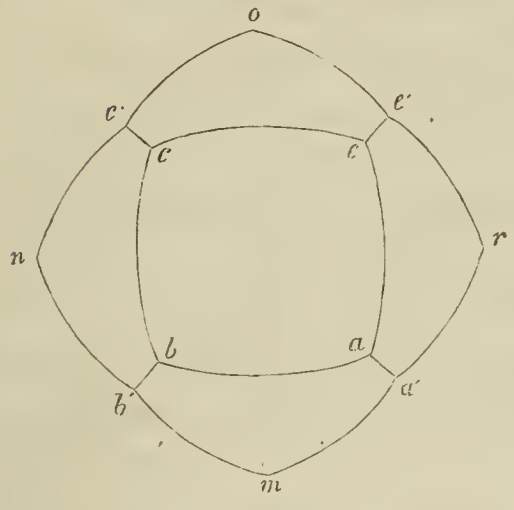
La combinaison 16 comprend trois quadrilatères Q et six pentagones P.

Imaginons d'abord que l'un des quadrilatères Q puisse être isolé des deux autres, et représentons par *abce* ce quadrilatère, par *aa'mb'b, bb'nc'c, cc'oe'e, ee'ra'a* les quatre pentagones qui lui sont juxtaposés. Il est aisé de voir que

le quadrilatère *abce* doit être régulier. Admettons, en effet, qu'il ne le soit pas et que l'on ait, en conséquence,

$$[ab = ce] < [ae = bc].$$

Fig. 8.



Les pentagones $aa're'e$, $aa'mb'b$ ont un côté commun aa', et dans l'un le côté adjacent ab est plus petit que n'est dans l'autre le côté adjacent ae. Il s'ensuit, conformément au théorème III du n° 8, que l'on doit avoir

$$bb' > ee'. \tag{14}$$

La comparaison des deux pentagones $cc'oe'e$, $cc'nb'b$ conduirait de la même manière à la relation

$$ee' > bb'. \tag{15}$$

L'incompatibilité qui subsiste entre les inégalités (14) et (15) implique la déduction suivante :

Théorème IV. *Lorsque quatre pentagones* P *sont accolés à un même quadrilatère* Q, *le quadrilatère est régulier, les pentagones sont égaux et semi-réguliers* *.

Le quadrilatère *abce* étant régulier, les pentagones qui lui sont juxtaposés laissent en dehors de l'étendue qu'ils occupent quatre angles $ma'r$, $nb'm$, $oc'n$, $re'o$, dont deux sont à remplir par les quadrilatères restants. Mais ces pentagones sont semi-réguliers et leurs côtés libres $a'm$, mb', $b'n$, etc., ont tous même longueur. Il s'ensuivrait donc, contrairement au théorème II

* Les pentagones P se subdivisent en trois classes distinctes : la première n'en admet qu'un seul, le pentagone régulier ; la seconde comprend les pentagones qui ont deux côtés égaux ; la troisième ceux dont les côtés sont tous différents. C'est aux pentagones de la deuxième classe que s'applique la désignation de semi-réguliers. Il est aisé de voir que, dans chacun de ces pentagones, l'égalité de deux côtés quelconques implique celle de deux autres côtés adjacents aux premiers.

du n° 7 (page 31), qu'il existerait un pentagone P admettant pour côtés adjacents les deux côtés d'un même quadrilatère Q. Concluons qu'*aucun des trois quadrilatères de la combinaison* 16 ne peut être isolé des deux autres. Ces mêmes quadrilatères peuvent-ils se juxtaposer tous trois autour d'un sommet commun ou se placer bout à bout, les uns après les autres? Telles sont évidemment les seules dispositions qu'il nous reste à examiner.

Supposons que les quadrilatères Q soient juxtaposés tous trois autour d'un sommet commun. Chacun d'eux a pour côtés adjacents à ce sommet des côtés qui, dans les deux autres, sont adjacents à leur côté commun, et qui, par conséquent, sont égaux entre eux *. Il s'ensuit que ces quadrilatères sont réguliers, et, *comme tout à l'heure,* que les pentagones restants ne peuvent pas se juxtaposer à leur contour extérieur.

Supposons, pour dernière hypothèse, que les trois quadrilatères Q soient placés bout à bout, les uns après les autres. Si le dernier se rattache au premier, sans vide intermédiaire, ils laissent en dehors de l'espace qu'ils occupent deux triangles T qu'il faudrait découper chacun en trois pentagones P, ce qui est évidemment impossible. Si le premier ne se rattache point au dernier, le vide à remplir exige qu'on accole aux trois quadrilatères juxtaposés quatre pentagones P, dont deux réguliers et deux semi-réguliers. On voit d'ailleurs aisément que ces deux derniers pentagones devraient avoir pour côtés adjacents les deux côtés d'un même quadrilatère Q. De là résulte, comme tout à l'heure, une impossibilité absolue.

Les détails qui précèdent impliquent évidemment la conclusion suivante :

Les combinaisons 14 *et* 16 *sont l'une et l'autre impossibles.*

10. Nous venons de voir que les dix-neuf solutions fournies par l'équation (5) du n° 4 (page 29), ne donnent tout au plus que sept combinaisons possibles, celles qui portent les numéros d'ordre 1, 7, 13, 15, 17, 18 et 19. Restons d'abord au point de vue purement géométrique, et proposons-nous de déterminer, pour chacune de ces combinaisons, comment elle est réalisable. Nous chercherons ensuite, parmi les systèmes liquides correspondants, ceux qu'il faut exclure comme instables, la somme des aires présentées par les lames dont ils se composent n'étant pas un minimum.

* Deux quadrilatères Q sont égaux lorsqu'ils ont un côté égal.

Soit, en premier lieu, la combinaison 1. Elle comprend quatre triangles T. Il suffit, en conséquence, de se reporter aux premiers paragraphes du n° 7 pour reconnaître comment elle se réalise, et donne pour polyèdre correspondant *le tétraèdre régulier*.

Soit, en second lieu, la combinaison 7. Elle admet deux triangles T et trois quadrilatères Q. On voit aisément que les deux triangles ne peuvent pas être juxtaposés. Il faut donc accoler à l'un d'eux les trois quadrilatères. Le vide restant se remplit par le second triangle, et l'on a pour polyèdre correspondant *un prisme droit à base triangulaire*.

Soit, en troisième lieu, la combinaison 13. Elle est formée de douze pentagones P. En supposant que ces pentagones soient tous réguliers, il est visible qu'ils satisfont aux conditions voulues et donnent pour polyèdre correspondant *le dodécaèdre régulier*. Ce système est d'ailleurs le seul que comporte la combinaison 13, vu qu'aucun des pentagones ne peut être irrégulier ou semi-régulier *.

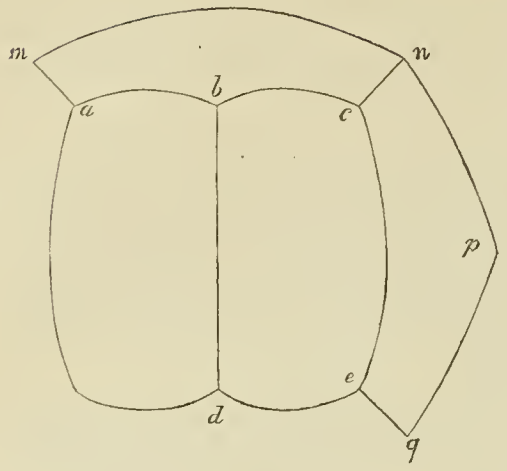
* Imaginons qu'on ait à construire un pentagone P irrégulier ou semi-régulier. Si l'on se donne, dans le premier cas, deux côtés adjacents, dans le second, un côté quelconque complétement défini par rapport aux autres, il ne reste plus rien d'arbitraire et le pentagone à construire n'admet qu'une seule détermination.

Soit P_0 l'un des douze pentagones à considérer. Supposons d'abord qu'il soit irrégulier et désignons par P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 les pentagones qui lui sont accolés. La détermination des pentagones P_0, P_1 impliquant celle du pentagone P_2; la détermination des pentagones P_0, P_2 celle du pentagone P_3 et ainsi de suite, de proche en proche, on voit que le pentagone P_5 est déterminé par les pentagones P_0, P_4 et qu'il doit satisfaire en outre à la condition de s'accoler au pentagone P_5. Il suit de là que, s'il est possible d'accoler à un pentagone *quelconque* irrégulier P_0 cinq pentagones P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, on ne le peut que d'une seule manière. Le groupe formé par ces six pentagones laisse en dehors de l'espace qu'il occupe sur la sphère cinq angles à remplir par un même nombre de pentagones P, chacun de ceux-ci étant complétement déterminé par les deux côtés de l'angle qui lui correspond. Mais, d'un autre côté, ces mêmes pentagones doivent s'accoler entre eux. De là résultent, en conséquence, cinq conditions nouvelles. Or la seule chose dont on dispose est le pentagone P_0, et deux conditions suffisent à sa détermination. Il y a donc trois conditions de trop et, par suite, impossibilité.

Supposons maintenant que le pentagone P_0 soit semi-régulier. Si l'on y désigne par a le côté qui n'a pas d'homologue; par m, m' les côtés adjacents au côté a; par n, n' les deux derniers côtés; par P_a, P_m, $P_{m'}$, P_n, $P_{n'}$ les cinq pentagones accolés au pentagone P_0, le premier suivant le côté a, le second suivant le côté m, et, ainsi de suite, pour les autres, il est aisé de voir comment on est conduit successivement aux déductions suivantes :

1° L'égalité des côtés adjacents n, n' implique celle des pentagones P_n, $P_{n'}$;

Fig. 9.



Soit, en quatrième lieu, la combinaison 15. Composée de deux quadrilatères Q et de huit pentagones P, elle est impossible par juxtaposition des deux-quadrilatères. Soient, en effet, *bd* le côté supposé commun aux deux quadrilatères Q et *ab*, *bc* les côtés adjacents de part et d'autre à ce côté commun. L'égalité qui subsiste nécessairement, d'une part entre les côtés *ba*, *bc*, d'autre part entre les arcs *am*, *cn*, *eq*, implique celle des pentagones accolés *abcnm*, *cnpqe* *. On a donc aussi $mn = ce$, $np = cb$, ce qui revient à dire que les arcs *mn*, *np* sont les deux côtés d'un même quadrilatère Q. Il suit de là, conformément au théorème II du n° 7 (page 31), que les arcs *mn*, *np* ne peuvent entrer comme côtés adjacents dans un même pentagone P, et qu'en conséquence les pentagones restants ne permettent pas de combler avec eux les vides à remplir.

2° L'égalité qui subsiste, d'une part entre les pentagones P_n, $P_{n'}$, d'autre part entre les côtés *m*, *m'*, implique l'égalité des pentagones P_m, $P_{m'}$ et, par suite, la semi-régularité du pentagone P_a;

3° La semi-régularité des pentagones P_a et P_o implique leur égalité;

4° L'égalité des pentagones P_o et P_a détermine le second, et celui-ci, chacun des quatre autres, en fonction du premier.

Concluons que tout est déterminé dans le groupe des six pentagones P_o, P_a, P_m, $P_{m'}$, P_n, $P_{n'}$, lorsqu'on se donne le côté *a* du pentagone P_o.

Cela posé, considérons les pentagones P_r, P_s, P_u, qui doivent s'intercaler respectivement, le premier entre les pentagones P_a, P_m, le second entre les pentagones P_m, P_n, le dernier entre les pentagones P_n, $P_{n'}$. On voit aisément qu'ils sont déterminés tous trois par les dispositions précédentes, et que, néanmoins, le pentagone P_s doit être tel qu'il s'accole à la fois à chacun des deux pentagones P_r et P_u. De là résultent deux conditions auxquelles il faut nécessairement satisfaire. Or on ne dispose que d'une seule chose, le côté *a* du pentagone P_o. Ici donc encore l'impossibilité subsiste.

* L'égalité des arcs *ba*, *bc* est évidente. Elle implique la semi-régularité du pentagone *abcnm* et, par conséquent, l'égalité des côtés *am*, *cn*. On a, d'ailleurs, à raison de la symétrie, $eq = cn$. Il s'ensuit que le pentagone *cnpqe* est semi-régulier comme le pentagone *abcnm*, et qu'en conséquence, ils sont tous deux égaux, puisqu'ils ont en commun un même côté *cn* semblablement placé.

Les quadrilatères Q étant isolés l'un de l'autre, à chacun d'eux se juxtaposent quatre pentagones P. La conclusion se déduit immédiatement du théorème IV du n° 9 (page 35) : les quadrilatères sont réguliers, les pentagones sont égaux et semi-réguliers. Il s'ensuit que la combinaison 15 donne pour système correspondant *un polyèdre à dix faces, dont deux planes et carrées, huit gauches, pentagonales et semi-régulières.* On voit d'ailleurs que les faces de même nature sont toutes égales entre elles.

Soit, en cinquième lieu, la combinaison 17. Elle comprend quatre quadrilatères Q et quatre pentagones P. Les dispositions que les quadrilatères peuvent présenter sont au nombre de quatre, savoir :

1° Un quadrilatère isolé des trois autres;

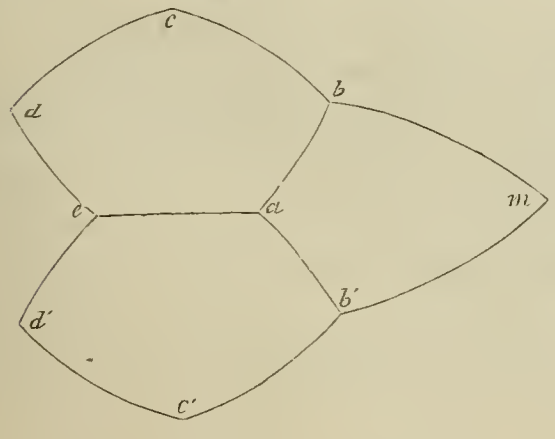
2° Trois quadrilatères accolés autour d'un sommet commun;

3° Quatre quadrilatères posés bout à bout, les uns après les autres;

4° Deux groupes séparés l'un de l'autre et comprenant chacun deux quadrilatères accolés.

Parmi ces dispositions, les trois premières ont leurs correspondantes dans la combinaison 16. L'impossibilité, déjà démontrée pour les unes au n° 9 (page 34), s'établit de la même manière pour les autres. Il ne reste donc que la quatrième disposition, et celle-ci peut se réaliser dans les conditions mêmes où la juxtaposition de deux quadrilatères est démontrée impossible pour le cas de la combinaison 15. Le système correspondant est *un polyèdre irrégulier à huit faces dont quatre planes, égales et rectangulaires, quatre gauches, égales, pentagonales et semi-régulières.*

Fig. 10.



Soit, en sixième lieu, la combinaison 18. Formée de cinq quadrilatères Q et de deux pentagones P, elle est impossible par juxtaposition des deux pentagones. Soient, en effet, *abcde*, $ab'c'd'e$ deux pentagones P accolés suivant l'arc *ea*. Les quadrilatères qui se juxtaposent aux côtés libres *ab*, *bc*, *cd*, etc., ont deux à deux un côté commun, celui par lequel ils s'accolent

entre eux. De là résulte l'égalité des côtés *ab*, *bc*, *cd*, etc., et, par suite, l'impossibilité absolue de la disposition considérée. En effet, du moment qu'un pentagone P a trois côtés égaux, il est nécessairement équilatéral et complétement déterminé. On aurait donc $ab' = ab = bc$ et il s'ensuivrait, contrairement au théorème II du n° 7 (page 31), que le pentagone *abcde* admettrait pour côtés adjacents les deux côtés d'un même quadrilatère Q. Concluons que les deux pentagones sont isolés l'un de l'autre, et qu'en conséquence on a pour polyèdre correspondant à la combinaison 18, *un prisme droit à base pentagonale*. Il est visible, d'ailleurs, que cette base est nécessairement régulière.

Soit, en septième et dernier lieu, la combinaison 19. Elle n'admet que des quadrilatères Q et ils sont au nombre de six. De là résultent évidemment les déductions suivantes : Les quadrilatères sont tous égaux et réguliers. Ils donnent *le cube* pour polyèdre correspondant.

11. Nous venons de voir comment les diverses combinaisons, reconnues seules possibles, ne comportent, en définitive, que sept polyèdres susceptibles de réalisation au point de vue géométrique. Il nous reste à exclure ceux de ces polyèdres pour lesquels les systèmes formés par les lames liquides correspondantes ne satisfont point aux conditions de stabilité. Ces derniers sont au nombre de six, savoir :

1° Le prisme droit à base triangulaire, fourni par la combinaison 7;

2° Le cube ou hexaèdre régulier, fourni par la combinaison 19;

3° Le prisme droit à base pentagonale, fourni par la combinaison 18;

4° Le dodécaèdre régulier, fourni par la combinaison 13;

5° Le polyèdre irrégulier à dix faces, fourni par la combinaison 15;

6° Le polyèdre irrégulier à huit faces, fourni par la combinaison 17.

Les détails dans lesquels nous devons entrer pour démontrer l'instabilité de ces différents systèmes exigent quelques développements. Commençons par établir les formules générales dont nous aurons besoin, suivant les différents cas, les figures à considérer n'étant autres que les polygones désignés ci-dessus par les lettres T, Q, P, ou, mieux encore, ceux qui s'en déduisent en substituant aux arcs de grands cercles, qui constituent les côtés de ces polygones, leurs cordes respectives.

On sait qu'en désignant par A, B, C, les angles d'un triangle sphérique et par α, 6, γ, les côtés opposés à ces angles, on a généralement les relations suivantes :

1° Entre un côté et les trois angles,

$$\cos A = -\cos B \cos. C + \sin B. \sin C. \cos \alpha. \tag{16}$$

2° Entre un angle et les trois côtés,

$$\cos \alpha = \cos 6. \cos \gamma + \sin 6. \sin \gamma. \cos A. \tag{17}$$

3° Entre deux côtés, l'angle qu'ils comprennent, et l'un des deux autres angles,

$$\cot \gamma. \sin 6 = \cot. C \sin A + \cos 6 \cos A. \tag{18}$$

4° Entre les angles et les côtés opposés,

$$\frac{\sin. A}{\sin \alpha} = \frac{\sin B}{\sin 6} = \frac{\sin C}{\sin \gamma}. \tag{19}$$

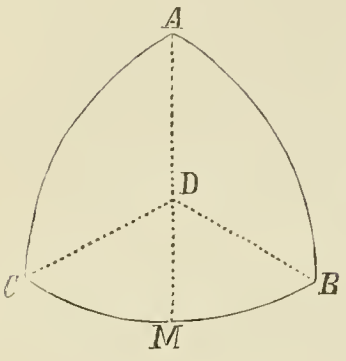
Si, d'ailleurs, on désigne par a, b, c, les cordes des arcs α, 6, γ, il est visible qu'on peut écrire immédiatement

$$a = 2 \sin \frac{\alpha}{2}, \quad b = 2 \sin \frac{6}{2}, \quad c = 2 \sin \frac{\gamma}{2}. \tag{20}$$

Cela posé, occupons-nous successivement du triangle T, des quadrilatères Q et des pentagones P.

CALCUL DU TRIANGLE T.

Fig. 11.



12. Considérons le triangle T et représentons-le par ABC. Chacun des angles A, B, C, étant de 120, on a

$$\cos A = \cos B = \cos C = -\frac{1}{2}, \quad \sin A = \sin B = \sin C = \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Appliquée à ce cas, la formule (16) du n° 11 donne, pour le côté α du triangle T,

$$\cos \alpha = -\frac{1}{3}. \tag{21}$$

On en déduit, à moins d'une seconde,

$$\alpha = 109^\circ, 28', 16''. \tag{22}$$

La formule (20) donne d'ailleurs, pour la corde a de l'arc α,

$$a = 2\sqrt{\frac{2}{3}}. \tag{23}$$

Soit AM la hauteur du triangle ABC, autrement dit l'arc de grand cercle mené du sommet A au milieu M de l'arc BC. L'angle en M étant droit et l'angle MAC ayant 60° d'ouverture, la formule (21) du n° 11 donne ici

$$\cos AM = -\frac{1}{\sqrt{3}}.$$

De là résulte

$$\text{arc AM} = 125^\circ, 15', 52''.$$

Soit D le centre du triangle ABC. On voit aisément que l'arc AD est le supplément de l'arc α, et qu'en le soustrayant du double de la hauteur AM, le reste doit être égal à 180°. La première de ces conditions donne

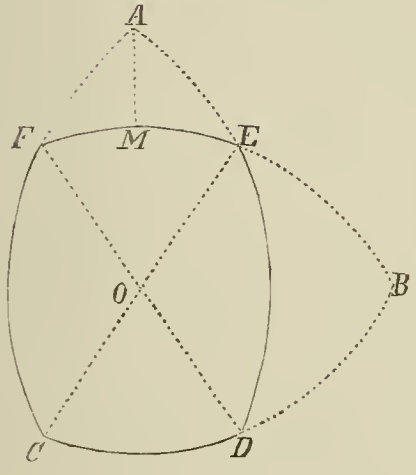
$$\text{arc AD} = 70^\circ, 31', 44''.$$

Le seconde conduit à l'égalité satisfaite

$$2\,[125^\circ, 15', 52''] - 70^\circ, 31', 44'' = 180^\circ.$$

CALCUL DES QUADRILATÈRES Q.

Fig. 12.



13. Soit un quadrilatère Q représenté par CDEF et ayant son centre en O à l'intersection des deux diagonales CE, DF.

Supposons d'abord que le quadrilatère CDEF soit régulier, et désignons par α son côté EF, par a la corde de l'arc α. Le triangle FOE étant rectangle en O, et chacun des angles OFE, OEF ayant 60° d'ouverture, les formules (16) et (20) du n° 11 (page 41) donnent successivement, la première

$$\cos\alpha = \frac{1}{5}, \tag{24}$$

la seconde

$$a = \frac{2}{5}\sqrt{5}. \tag{25}$$

Prolongeons les arcs CF et DE, CD et FE, les premiers jusqu'à leur rencontre en A, les derniers jusqu'à leur rencontre en B. L'égalité qui subsiste entre les angles adjacents aux côtés DE, EF dans les triangles DOE, DBE,

EOF, EAF, implique l'égalité de ces mêmes triangles. De là résulte évidemment

$$A = B = 90^\circ. \tag{26}$$

Supposons maintenant que le quadrilatère CDEF soit irrégulier, et conservons d'ailleurs les données précédentes.

En appliquant au triangle EAF la formule (16) du n° 11, on trouve

$$\cos A = -\frac{1}{4} + \frac{3}{4}\cos\alpha \quad \text{et, par suite, } \cos\frac{A}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}\cos\frac{\alpha}{2}. \tag{27}$$

On a de même, en désignant par 6 le côté DE du triangle DEB,

$$\cos B = -\frac{1}{4} + \frac{3}{4}\cos 6 \quad \text{et, par suite, } \cos\frac{B}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}\cos\frac{6}{2}. \tag{28}$$

Soit x l'arc AF. On peut écrire immédiatement

$$x + \frac{6}{2} = \frac{\pi}{2}$$

et, par suite,

$$\sin\frac{6}{2} = \cos x. \tag{29}$$

Prenons en M le milieu de l'arc EF et traçons l'arc AM. En appliquant la formule (16) du n° 11 au triangle AME, rectangle en M, il vient

$$\cos x = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{\cos\frac{A}{2}}{\sin\frac{A}{2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{\frac{1+\cos A}{1-\cos A}}. \tag{30}$$

La combinaison des équations (27), (29) et (30) donne, d'une part,

$$\cos 6 = 1 - 2\sin^2\frac{6}{2} = 1 - \frac{2}{3}\frac{1+\cos A}{1-\cos A} = \frac{3-3\cos\alpha}{3-3\cos\alpha}. \tag{31}$$

d'autre part,

$$\sin\frac{\delta}{2} = \sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{5-3\cos\alpha}} \quad (32)$$

*.

L'équation (31) peut, d'ailleurs, s'écrire, comme il suit,

$$5[\cos\alpha + \cos\delta] = 3[1 + \cos\alpha\cos\delta]. \quad (33)$$

Combinée avec l'équation (28), elle fournit, en outre, la relation générale

$$\cos A + \cos B = \cos A \cos B. \quad (34)$$

De là résulte, en remplaçant cos A par $1 - 2\sin^2\frac{A}{2}$ et cos B par $1 - 2\sin^2\frac{B}{2}$,

$$2\sin\frac{A}{2}\sin\frac{B}{2} = 1 = \cos\frac{A-B}{2} - \cos\frac{A+B}{2}. \quad (35)$$

L'équation (32) donne

$$\operatorname{tg}\frac{\delta}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{1-\cos\alpha}} = \frac{1}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$$

ou, ce qui revient au même,

* Les équations subsistant entre les angles α et δ permettent d'établir ces autres relations

$$\cos\frac{\delta}{2} = 2\sqrt{\frac{1-\cos\alpha}{5-3\cos\alpha}},$$

$$\sin\delta = \frac{4\sin\alpha}{5-3\cos\alpha},$$

$$\sin\frac{\alpha}{2}\sin\frac{\delta}{2} = \sqrt{\frac{\cos\alpha+\cos\delta}{6}}.$$

On a aussi

$$\operatorname{tang}\frac{\alpha}{2} = \operatorname{tg}\frac{A}{2}\cos\frac{B}{2}, \qquad \operatorname{tg}\frac{\delta}{2} = \operatorname{tg}\frac{B}{2}\cos\frac{A}{2}.$$

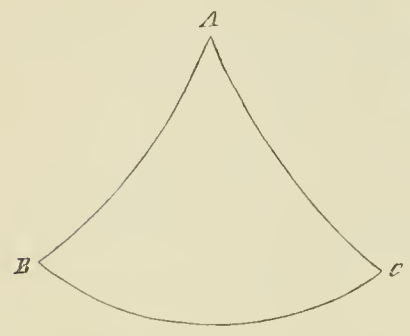
(35bis) $$2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} = 1.$$

Remarque. On voit par l'équation (27) que l'angle A reste toujours compris entre 60° et 180°. La première de ces limites correspond à $\alpha = 0$, la seconde à $\alpha = \pi$. Il en est de même de l'angle B par rapport à l'angle ε.

CALCUL DES PENTAGONES P.

14. Le pentagone P peut être régulier, semi-régulier ou irrégulier. Nous n'avons à considérer ici que chacun des deux premiers cas.

Fig. 13.



Supposons d'abord que le pentagone P soit régulier et représentons par BC son côté α, par A son centre. Les angles du triangle sphérique ABC sont déterminés comme il suit :

$$A = \frac{2\pi}{5}, \quad B = C = 60°.$$

La formule (16) du n° 11 (page 41) donne, en conséquence,

$$\cos \frac{2\pi}{5} = -\frac{1}{4} + \frac{5}{4} \cos \alpha.$$

On a, d'ailleurs,

$$\cos \frac{2\pi}{5} = \frac{\sqrt{5} - 1}{4}.$$

De là résulte, en substituant,

(36) $$\cos \alpha = \frac{\sqrt{5}}{5}.$$

La corde a de l'arc α se déduit de cette valeur d'après la formule (20) du n° 11. On trouve ainsi

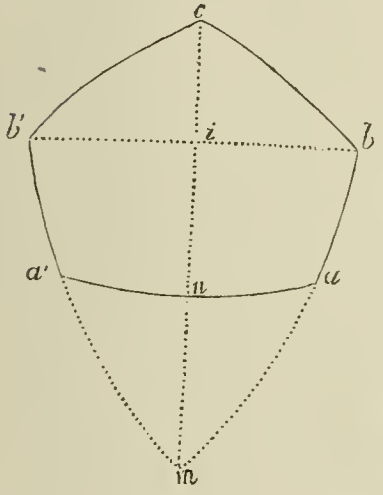
$$a = 2\sqrt{\frac{5-\sqrt{5}}{6}}. \tag{57}$$

Supposons maintenant que le pentagone P soit semi-régulier, et représentons-le par $abcb'a'$. On a, par hypothèse,

$$cb = cb', \quad ab = a'b'.$$

Prolongeons jusqu'à leur rencontre en m les côtés ba, $b'a'$, et traçons les arcs bb' et cm. Il est visible que l'arc cm est bissecteur de l'angle bcb' et qu'il coupe en leurs milieux respectifs i et n, les deux arcs bb', aa'.

Fig. 14.



Le triangle bic étant rectangle en i et l'angle bci ayant 60° d'ouverture, il vient, d'après la formule (19) du n° 11,

$$\sin\frac{bb'}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}\sin bc. \tag{58}$$

Désignons par M l'angle ama'. En appliquant la formule (16) du n° 11 à chacun des deux triangles mbc, man, on trouve

$$\cos\frac{M}{2} = \frac{1+3\cos bc}{4} = \frac{\sqrt{3}}{2}\cos\frac{aa'}{2} \text{ *}, \tag{59}$$

et, par suite,

$$\cos\frac{aa'}{2} = \frac{1+3\cos bc}{2\sqrt{3}}. \tag{60}$$

* On a aussi

$$\cos M = -\frac{1}{4} + \frac{3}{4}\cos aa' = \frac{(1+3\cos bc)^2}{8} - 1.$$

La formule (18) du n° 11 s'applique de même à ces deux triangles. En posant, pour le premier,

$$A = mbc = 120°, \quad C = bcm = 60°, \quad \gamma = bm, \quad \varepsilon = bc,$$

il vient

$$\cot bm \sin bc = \frac{1 - \cos bc}{2} = \sin^2 \frac{bc}{2},$$

et, par suite,

$$\cot bm = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \frac{bc}{2}. \tag{41}$$

En posant, pour le second,

$$A = man = 60°, \quad C = anm = 90°, \quad am = \gamma, \quad \frac{aa'}{2} = \varepsilon,$$

on a, d'abord,

$$\cot am. \sin \frac{aa'}{2} = \frac{1}{2} \cos \frac{aa'}{2},$$

et, par suite,

$$\operatorname{tg} am = 2 \operatorname{tg} \frac{aa'}{2}. \tag{42}$$

La combinaison des équations (41) et (42) donne

$$\operatorname{tg} ab = \operatorname{tg}. (bm - am) = 2 \frac{1 - \operatorname{tg}. \frac{bc}{2} \operatorname{tg} \frac{aa'}{2}}{\operatorname{tg} \frac{bc}{2} + 4 \operatorname{tg} \frac{aa'}{2}}. \tag{43}$$

Dans le cas particulier où les côtés bc et aa' appartiendraient à un même quadrilatère Q, on aurait, d'après la formule (35^{bis}) du n° 13, page 46,

$$2 \operatorname{tg} \frac{bc}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{aa'}{2} = 1.$$

La formule (43) donnerait, en conséquence,

$$(43^{bis}) \qquad \cot ab = \operatorname{tg} \frac{bc}{2} + 4 \operatorname{tg} \frac{aa'}{2} = 2 (\operatorname{tg} am + \cot bm).$$

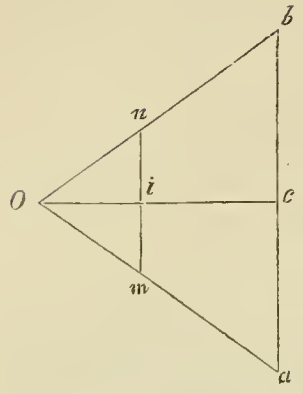
15. Reportons-nous aux numéros 10 et 11 (pages 36 et 40). Dans l'un, nous avons défini et déterminé chacun des sept polyèdres dont la réalisation est géométriquement possible. Dans l'autre, nous avons dit que, pour six de ces polyèdres, les systèmes formés par les lames liquides correspondantes ne satisfaisaient pas aux conditions de l'équilibre stable. C'est ce dernier point qu'il s'agit actuellement d'établir. Nous procéderons, à cet effet, de la façon suivante.

Soit O le sommet libre d'où partent les lames et arêtes liquides à considérer.

Prenons le point O pour centre d'une sphère de rayon suffisamment petit, et représentons-nous les arcs qui résultent de l'intersection de cette sphère avec les lames issues du point O. Si l'on tire les cordes de ces arcs et qu'on les solidifie, elles deviennent les arêtes de l'un des six polyèdres désignés au n° 11 (page 40) comme correspondants à des systèmes instables. Considérons le polyèdre ainsi déterminé. Les lames qu'il comprend à son intérieur ne sont assujetties qu'à conserver leurs attaches sur les arêtes solides et à se relier entre elles sans déchirure. Elles peuvent d'ailleurs s'étendre ou se contracter. De là résulte, pour leur ensemble, une infinité de déformations possibles. Supposons que, parmi ces déformations, on en trouve une pour laquelle la somme totale des surfaces présentées par les lames commence par diminuer. On peut s'en tenir à ce résultat unique. Il suffit à lui seul pour établir l'instabilité du système que l'on considère.

16. Donnons-nous en premier lieu le cas général d'un prisme droit à base polygonale et régulière. Les lames à considérer consistent en une suite de triangles ayant tous pour sommet le centre du prisme, et chacun pour base l'une des arêtes de ce polyèdre.

Fig. 15.



Soit P le plan mené par le centre O parallèlement à la base du prisme. Projetons en *ab*, sur ce plan, l'une des arêtes qui lui sont parallèles et tirons les droites O*a*, O*b*. Si nous prenons sur ces droites deux longueurs égales, continûment croissantes à partir de zéro et représentées respectivement par O*m*, O*n;* si nous opérons, en même temps et de la même manière, pour chaque arête parallèle au plan P, il est visible que nous pouvons substituer au centre O les sommets libres *m*, *n*, etc., introduire comme lame additionnelle le polygone central déterminé par ces sommets et calculer, en conséquence, ce que devient l'étendue totale des lames à considérer.

Abaissons du point O sur *ab* la perpendiculaire O*e* qui coupe en *i* le segment *mn*, et représentons par *r* la longueur O*b;* par *x* la longueur O*m;* par A l'angle *a*O*b;* par 2*h* la hauteur du prisme; par B l'angle que font entre elles les deux lames triangulaires projetées en *a*O*b*. On trouve ainsi :

1° Pour la surface du triangle *m*O*n*,

$$x^2 \sin\frac{A}{2}\cos\frac{A}{2};$$

2° Pour la surface du triangle projeté en *nb*,

$$h\,(r-x) = r\,(r-x)\cos\frac{A}{2}\,\mathrm{tg}\,\frac{B}{2};$$

3° Pour la surface des deux trapèzes projetés en *amnb*,

$$2\,(x+r)\sin\frac{A}{2}\cdot\sqrt{h^2+(r-x)^2\cos^2\frac{A}{2}}\,.$$

Désignons par *p* le nombre des côtés de la base du prisme et par S_x l'étendue totale des lames à considérer. Il est aisé de voir qu'on peut écrire, en général,

$$S_x = p\left[x^2 \sin\frac{A}{2}\cos\frac{A}{2} + h(r-x) + 2(x+r)\sin\frac{A}{2}\sqrt{h^2 + (r-x)^2\cos^2\frac{A}{2}}\right].$$

On a, d'ailleurs,

$$h = r\cos\frac{A}{2}\,\text{tg.}\,\frac{B}{2}, \tag{44}$$

et, par suite,

$$\sqrt{h^2 + r^2\cos^2\frac{A}{2}} = \frac{h}{\sin\frac{B}{2}}. \tag{45}$$

De là résulte, en général (la variable x restant assez petite pour qu'on puisse en négliger les puissances supérieures à la seconde, et la quantité S_o représentant la valeur affectée par S_x à l'origine de la déformation que l'on considère),

$$S_o - S_x = px\left[h\left(1 - 2\sin\frac{A}{2}\sin\frac{B}{2}\right) + \frac{x}{2}\left(\cos^3\frac{B}{2} + \cos\frac{B}{2} - 1\right)\right]. \tag{46}$$

S'agit-il en particulier des combinaisons 7, 18 et 19? Les polyèdres correspondants sont des prismes droits ayant pour faces latérales des rectangles dérivés chacun d'un quadrilatère Q. Il s'ensuit que l'on a, conformément à la formule (35) du n° 13 (page 45) :

$$2\sin\frac{A}{2}\sin\frac{B}{2} = 1. \tag{47}$$

Il vient donc aussi

$$S_o - S_x = \frac{1}{2}px^2\sin A\left[\cos^3\frac{B}{2} + \cos\frac{B}{2} - 1\right]. \tag{48}$$

L'équation (48) met en évidence la condition à remplir pour que la déformation supposée implique l'instabilité du système. Cette condition consiste

en ce que l'angle aigu $\frac{B}{2}$ doit être tout au plus égal à l'angle γ déterminé par l'équation de condition

$$\cos^3\gamma = 1 - \cos\gamma = 2\sin^2\frac{\gamma}{2}.$$

On déduit de là

$$\gamma = 46°, 58', 27''.$$

On doit donc avoir

$$\frac{B}{2} < 46°, 58', 27''$$

ou, ce qui revient au même, en vertu de l'équation (47),

$$A > 86°, 18', 25''.$$

Rapprochons de ce dernier résultat les données suivantes :

Dans le cas de la combinaison 7, la base du prisme est un triangle équilatéral et l'on a

$$A = 120°.$$

Dans le cas de la combinaison 19, la base du prisme est un carré et l'on a

$$A = 90°.$$

Dans le cas de la combinaison 18, la base du prisme est un pentagone régulier et l'on a

$$A = 72°.$$

Cela posé, voici les conséquences :

Les systèmes fournis par les combinaisons 7 et 19 sont instables. Ils peuvent se déformer par addition d'une lame centrale parallèle aux bases des prismes qui leur correspondent et disposée semblablement.

Le système fourni par la combinaison 18 n'admet pas le mode de déformation indiqué ci-dessus pour les combinaisons 7 et 19.

17. Donnons-nous, en second lieu, le cas général d'un polyèdre quelconque, choisi comme on veut parmi ceux que nous avons à examiner. Les lames à considérer sont des triangles qui ont pour bases respectives les arêtes du polyèdre et pour sommet son centre.

Au lieu de procéder, comme tout à l'heure, par addition directe d'une lame centrale, on peut, *dans tous les cas,* prendre, à partir du centre, sur chaque arête liquide, une longueur continûment croissante à partir de zéro, considérer les extrémités de ces longueurs comme les sommets d'un polyèdre Π' semblable ou non semblable au polyèdre donné Π, et *substituer les faces de ce nouveau polyèdre aux portions de lames qu'il intercepte, et qui sont comprises à son intérieur.* On peut, en outre, choisir arbitrairement l'une de ces faces et la supprimer tout entière. Cette suppression est permise parce qu'elle n'implique ni déchirure, ni solution de continuité. Il est clair, en effet, qu'à l'origine commune de toutes les faces du polyèdre Π', rien ne fait obstacle à ce que l'une d'elles se comporte comme si elle était refoulée vers l'intérieur, de manière à s'appliquer sur les autres.

Imaginons qu'on opère d'après les indications précédentes, et qu'après avoir supprimé l'une des faces du polyèdre Π', on compare les autres aux portions de lames qu'elles remplacent. Deux cas pourront se présenter selon que celles-ci l'emporteront sur celles-là en étendue totale ou inversement. Dans le premier cas, l'on sera certain que le système correspondant au polyèdre Π est instable. Dans le second, on observera que le nombre des lames et faces liquides, aboutissant à chacun des côtés de la face supprimée, se trouve réduit à deux. Cet état de choses ne saurait se maintenir. Il implique à la fois un changement spontané de forme et une diminution de l'étendue totale des surfaces à considérer. On ne peut donc rien conclure, à moins d'examiner la déformation subséquente et d'en déterminer l'effet définitif.

Le moyen le plus simple qui se présente ici consiste à supposer, pour chaque face contiguë à la face supprimée, qu'elle se retire graduellement sur elle-même et se réduit aux côtés qui lui sont communs avec les faces

conservées. Il s'ensuit, d'ailleurs, qu'il faut reporter, en même temps, sur ces côtés les attaches des lames aboutissant aux côtés disparus *.

Peut-être convient-il d'ajouter ici quelques éclaircissements? Revenons, à cet effet, au cas général du prisme, et appliquons, dans tous ses détails, le procédé qui vient d'être décrit. Pour plus de clarté, nous supposerons que la face, supprimée la première dans le prisme Π', est l'une de ses bases.

En conservant les données et les notations du n° 16, on trouve aisément :

1° Pour la somme des faces du prisme Π', une base exceptée,

$$pr \sin\frac{A}{2}\left[r\cos\frac{A}{2}+4h\right]=pr^2\sin\frac{A}{2}\cos\frac{A}{2}\left[1+4\operatorname{tg}\frac{B}{2}\right]=prh\sin\frac{A}{2}\left[4+\cot\frac{B}{2}\right]^{**}.$$

2° Pour la somme des portions de lames interceptées par ce prisme,

$$pr\left[h+2\sin\frac{A}{2}\sqrt{h^2+\cos^2\frac{A}{2}}\right]=prh\left[1+2\frac{\sin\frac{A}{2}}{\sin\frac{B}{2}}\right].$$

3° Pour excès de la première somme sur la seconde,

$$prh\left\{\sin\frac{A}{2}\sqrt{4\sin^2\frac{A}{2}-1}-\left(2\sin\frac{A}{2}-1\right)^2\right\}.$$

L'inégalité

$$\sin\frac{A}{2}\sqrt{4\sin^2\frac{A}{2}-1}>\left(2\sin\frac{A}{2}-1\right)^2$$

se ramène à la suivante

* On ne perdra pas de vue, pour les applications, qu'il y a simultanéité dans les diverses modifications présentées ci-dessus comme se produisant d'une manière successive. Cela revient à dire que les faces conservées définitivement sont les seules qui se produisent, en réalité, à l'origine de la déformation.

** On sait que les quantités r, h, A et B sont liées entre elles par les équations de condition qui figurent au n° 16 (page 51), sous les numéros (44) (45) et (47).

$$6 \sin \frac{A}{2} \left(1 - \sin \frac{A}{2}\right)^2 < 1 + \sin^2 \frac{A}{2} \text{ *}$$

et celle-ci ne cesse pas d'être satisfaite pour toute valeur de l'angle A comprise entre zéro et 180°. Il s'ensuit que la première somme l'emporte toujours sur la seconde, et que, en conséquence, il y a lieu de poursuivre en faisant évanouir, à leur tour chacune des faces contiguës à la base supprimée. On revient ainsi à la solution du n° 16. En effet, de toutes les faces du prisme Π' il ne reste plus que l'une de ses bases, et la raison de symétrie montre suffisamment qu'il convient de la maintenir au centre.

18. Nous avons dit qu'on était libre de choisir comme on veut la face à supprimer la première dans le polyèdre Π'. Lorsque ce polyèdre est prismatique, on a, d'après ce qui précède,

$$prh \sin \frac{A}{2} \cot \frac{B}{2},$$

pour mesure de la base, et

$$4\, rh \sin \frac{A}{2},$$

pour mesure d'une face latérale. Il s'ensuit que celle-ci l'emporte sur celle-là pour toute valeur de B satisfaisant à la condition

$$\cot \frac{B}{2} < \frac{4}{p}$$

ou, ce qui revient au même, pour toute valeur de A satisfaisant à l'inégalité

$$4 \sin^2 \frac{A}{2} < 1 + \frac{16}{p^2}. \tag{49}$$

En posant, pour le cas du prisme à base triangulaire,

* Le maximum absolu du premier membre de cette inégalité correspond à $\sin \frac{A}{2} = \frac{1}{3}$. Il a pour valeur $\frac{8}{9}$.

$$p = 3, \quad \sin\frac{A}{2} = \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2};$$

pour le cas du prisme à base carrée,

$$p = 4, \quad \sin\frac{A}{2} = \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}};$$

pour le cas du prisme à base pentagonale,

$$p = 5, \quad \sin\frac{A}{2} = \sin 36^\circ = \sqrt{\frac{5-\sqrt{5}}{8}},$$

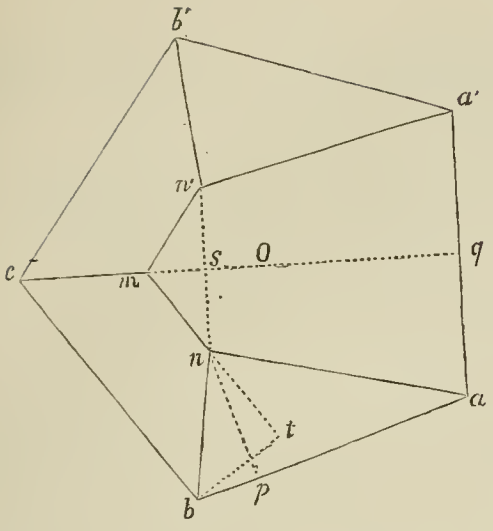
on vérifie aisément que l'inégalité (49) n'est satisfaite que pour le prisme à base pentagonale. Ce cas est donc le seul où la suppression d'une face latérale soit tout d'abord plus avantageuse que celle de l'une des bases. Veut-on déterminer ce que devient, en conséquence, l'excès dont on a l'expression générale au n° 17 (page 54), il suffit d'ajouter à cet excès la différence algébrique :

$$rh \sin\frac{A}{2}\left[p \cot\frac{B}{2} - 4\right] = rh \sin\frac{A}{2}\left[p\sqrt{4\sin^2\frac{A}{2} - 1} - 4\right],$$

et de substituer à p et A leurs valeurs respectives. On trouve ainsi pour résultat une quantité positive. La conséquence est la même qu'au n° 17. Il faut poursuivre, en faisant évanouir les faces contiguës à la face supprimée la première, c'est-à-dire les deux bases, et, en outre, deux faces latérales. Il ne reste ainsi du prisme Π' que deux faces contiguës et quadrangulaires, offrant six côtés libres, et c'est à ces côtés que doivent se rattacher les portions de lames conservées entre le prisme Π et le prisme Π'.

Cela posé, voici comment on est conduit à procéder pour le cas qui nous occupe, celui du prisme à base pentagonale.

Fig. 16.



Soit P un plan mené par le centre O parallèlement aux bases. Soient en même temps a, b, c, b', a' les projections sur ce plan des différents sommets du prisme Π. Désignons par P′ le plan mené suivant Oc normalement au plan P. Les constructions à faire étant symétriques par rapport à chacun des deux plans P, P′, il suffit que nous les indiquions pour l'un des quatre angles dièdres compris entre ces deux plans.

Le point m est pris sur la droite Oc, à proximité du centre O, le point n sur la droite mn, à proximité du point m. La droite mn est parallèle au côté cb *. La droite Oq est le prolongement de cO. Les points p, s, t sont les pieds des perpendiculaires abaissées respectivement, la première, du point n sur la droite ab; la seconde, du point n sur la droite cO; la troisième, du point b sur la droite mn.

Considérons les points m, n, t, comme les projections respectives de trois points m_1, n_1, t_1, situés au-dessus du plan P, le premier à la distance y, le second à la distance z, le troisième à la distance h.

Les lames liquides, qui correspondent à cette partie de la figure, et dont il faut déterminer l'étendue, sont les suivantes :

1° La moitié du trapèze projeté en cm;
2° Le triangle projeté en mcb;
3° Le triangle projeté en bmn **;
4° Le trapèze projeté en bn;
5° Le triangle projeté en bna;
6° Le trapèze projeté en an;
7° Le triangle projeté en nms;

* La droite mn peut être dirigée, comme on veut, dans le plan P. Le calcul montre qu'il convient de la diriger parallèlement à cb.

** Les deux triangles projetés respectivement, l'un en mcb, l'autre en bmn, sont pris aux lieu et place du quadrilatère projeté en $bcmn$.

8° Le trapèze projeté en *ansq* *;

9° Le trapèze projeté en *mn*.

Désignons par x la distance Om; par u le segment mn; par r, h, A et B les mêmes grandeurs qu'au n° 16. On a ici

$$A = \frac{2\pi}{5}$$

et, par suite,

$$\overset{\wedge}{smn} = \overset{\wedge}{mcb} = \frac{\pi}{2} - \frac{A}{2}.$$

Cela posé, on trouve aisément

$$(50)\quad \begin{cases} sn = u\cos\dfrac{A}{2}, \qquad sm = u\sin\dfrac{A}{2} \\ bt = (r-x)\cos\dfrac{A}{2}, \qquad mt = (r+x)\sin\dfrac{A}{2} \\ sq = r\cos\dfrac{A}{2} + x - u\sin\dfrac{A}{2} \\ np = r\cos\dfrac{A}{2} + x\cos A - u\sin A \\ nb = \sqrt{\left[r\sin A - u\cos\dfrac{A}{2}\right]^2 + \left[r\cos A + u\sin\dfrac{A}{2} - x\right]^2} \\ na = \sqrt{\left[r\sin\dfrac{A}{2} - u\cos\dfrac{A}{2}\right]^2 + \left[r\cos\dfrac{A}{2} + x - u\sin\dfrac{A}{2}\right]^2}. \end{cases}$$

Nommons ω l'angle que la droite m_1n_1 fait avec sa projection mn et h' la perpendiculaire abaissée du point t_1 sur la droite m_1n_1. On a, d'abord,

$$(51)\qquad \operatorname{tg}\omega = \frac{z-y}{u};$$

* Le triangle et le trapèze projetés respectivement, l'un en *mns*, l'autre en *ansq*, sont pris aux lieu et place de la moitié du pentagone projeté en *anmn'a'*.

et, ensuite,

$$h' = (h - y)\cos\omega - (r + x)\sin\frac{A}{2}\sin\omega. \tag{52}$$

De là résulte :

1° Pour la moitié du trapèze projeté en *cm*,

$$\frac{1}{4}(h + y)(r - x);$$

2° Pour le triangle projeté en *mcb*,

$$r\sin\frac{A}{2}\sqrt{(h - y)^2 + (r - x)^2\cos^2\frac{A}{2}};$$

3° Pour le triangle projeté en *bmn*,

$$\frac{u}{2}\sqrt{h'^2 + (r - x)^2\cos^2\frac{A}{2}};$$

4° Pour le trapèze projeté en *bn*,

$$\frac{1}{2}(h + z)\sqrt{\left(r\sin A - u\cos\frac{A}{2}\right)^2 + \left[r\cos A + u\sin\frac{A}{2} - x\right]^2};$$

5° Pour le triangle projeté en *bna*,

$$r\sin\frac{A}{2}\sqrt{(h - z)^2 + \left[r\cos\frac{A}{2} + x\cos A - u\sin A\right]^2};$$

6° Pour le trapèze projeté en *an*,

$$\frac{1}{2}(h + z)\sqrt{\left[r\sin\frac{A}{2} - u\cos\frac{A}{2}\right]^2 + \left[r\cos\frac{A}{2} + x - u\sin\frac{A}{2}\right]^2};$$

7° Pour le triangle projeté en *nms*,

$$\frac{1}{2}\, u \cos\frac{A}{2}\sqrt{u^2 \sin^2\frac{A}{2} + (z-y)^2};$$

8° Pour le trapèze projeté en *ansq*,

$$\frac{1}{2}\left(r \sin\frac{A}{2} + u\cos\frac{A}{2}\right)\sqrt{(h-z)^2 + \left[r\cos\frac{A}{2} + x - u\sin\frac{A}{2}\right]^2};$$

9° Pour le trapèze projeté en *mn*,

$$\frac{1}{2}\, u\,(y+z).$$

Soit $\frac{S}{4}$ la somme de toutes ces surfaces. Multiplions-la par quatre et, après en avoir pris la dérivée, annulons dans le résultat chacune des quantités variables x, y, z, u. On trouve ainsi

$$\frac{dS}{dx} = \begin{cases} (h - r\sin A)\left(2\cos\frac{A}{2} - 2\cos A - 1\right) + r\left(4 - \dfrac{6h\sin\frac{A}{2}}{\sqrt{h^2 + r^2\cos^2\frac{A}{2}}}\right)\dfrac{dz}{dx} \\ + r\left[1 - \dfrac{4h.\sin\frac{A}{2}}{\sqrt{h^2 + r^2\cos^2\frac{A}{2}}}\right]\dfrac{dy}{dx} \\ + \left[2\sqrt{h_1^2 + r^2\cos^2\frac{A}{2}} - 2h\left(\sin\frac{A}{2} + \sin A\right) - r^2\sin A.\dfrac{2\sin A + \sin\frac{A}{2}}{\sqrt{h^2 + r^2\cos^2\frac{A}{2}}}\right]\dfrac{du}{dx} \\ + 2\cos\frac{A}{2}\sqrt{h^2 + r^2\cos^2\frac{A}{2}}.\ \dfrac{du}{dx}\ . \end{cases}$$

la quantité h_1 étant ce que devient la quantité h' lorsqu'on annule les variables x, y.

On a d'ailleurs, ainsi qu'on l'a vu précédemment au n° 16 (page 51, formules (44) et (47)),

$$h = r\cos\frac{A}{2}\operatorname{tg}\frac{B}{2}, \qquad 2\sin\frac{A}{2}\sin\frac{B}{2} = 1, \tag{53}$$

et, eu égard à la valeur $\frac{2\pi}{5}$ de l'angle A,

$$\begin{cases} \cos\dfrac{A}{2} = \dfrac{1+\sqrt{5}}{4} = \sqrt{\dfrac{3+\sqrt{5}}{8}}, \quad \sin\dfrac{A}{2} = \sqrt{\dfrac{5-\sqrt{5}}{8}}, \\ \cos A = \dfrac{\sqrt{5}-1}{4} = \sqrt{\dfrac{5-\sqrt{5}}{8}}. \end{cases} \tag{54}$$

La combinaison des équations (53) et (54) conduit aux relations

$$\begin{cases} \sin\dfrac{B}{2} = \dfrac{1}{2\sin\dfrac{A}{2}}, \quad \cos\dfrac{B}{2} = \dfrac{\cos A}{\sin\dfrac{A}{2}}, \quad \operatorname{tg}B = 2\cos\dfrac{A}{2}. \\ h = 2r\cos^2\dfrac{A}{2}, \sqrt{h^2 + r^2\cos^2\dfrac{A}{2}} = 2h\sin\dfrac{A}{2} = 4r\sin\dfrac{A}{2}\cos^2\dfrac{A}{2} = 2r\sin A\cos\dfrac{A}{2} \\ 2\cos\dfrac{A}{2} + 2\cos A - 1 = 0, \quad 2h\sin\dfrac{A}{2} = \sqrt{h^2 + r^2\cos^2\dfrac{A}{2}}. \end{cases} \tag{55}$$

De là résulte, en substituant,

$$\frac{dS}{dx} = r\left(\frac{dz}{dx} - \frac{dy}{dx}\right) - 2\left(2h\sin\frac{A}{2} - \sqrt{h_1^2 + r^2\cos^2\frac{A}{2}}\right)\frac{du}{dx}. \tag{56}$$

On a d'ailleurs, d'après l'équation (51),

$$\operatorname{tg}\omega = \frac{\dfrac{dz}{dx} - \dfrac{dy}{dx}}{\dfrac{du}{dx}} \tag{57}$$

et, d'après l'équation (52),

$$h_1 = h\cos\omega - r\sin\frac{A}{2}\sin\omega.$$

Posons

$$2\left(2h\sin\frac{A}{2} - \sqrt{h_1^2 + r^2\cos^2\frac{A}{2}}\right) > r\,\mathrm{tg}\,\omega, \tag{58}$$

ou, ce qui revient au même,

$$\left(2h\sin\frac{A}{2} - \frac{r}{2}\,\mathrm{tg}\,\omega\right)^2 > h_1^2 + r^2\cos^2\frac{A}{2}. \tag{59}$$

Si l'on développe la dernière inégalité et qu'on ait égard à la relation

$$4\cos^4\frac{A}{2} - \sin^2\frac{A}{2} + \frac{1}{4} = 2\cos\frac{A}{2} = \frac{1+\sqrt{5}}{2},$$

on trouve, après suppression du facteur $r^2\,\mathrm{tg}\,\omega$,

$$\mathrm{tg}\,\omega\left[\frac{\mathrm{tg}^2\omega}{4} + 2\cos\frac{A}{2}\right] + 2\sin\frac{A}{2}\cos^2\frac{A}{2}\left[1 - \mathrm{tg}^2\omega\right] > 0. \tag{60}$$

L'inégalité (60) implique évidemment les déductions successives, formulées comme il suit.

Parmi les valeurs positives de la quantité $tg\,\omega$, il en est une infinité qui satisfont à l'inégalité (58) et qui donnent, en conséquence,

$$\frac{dS}{dx} < r\left[\frac{dz}{dx} - \frac{dy}{dx}\right] - r\frac{du}{dx}\,\mathrm{tg}\,\omega < 0. \tag{61}$$

L'inégalité (61) montre qu'il y a déformation possible avec diminution de l'étendue totale des lames à considérer. On est donc en droit de poser la conclusion suivante :

Le système fourni par la combinaison 18 est instable. Il peut se déformer d'après le mode exposé au n° 17.

19. Passons au système fourni par la combinaison 13. Le polyèdre correspondant est le dodécaèdre régulier.

Considérons le polyèdre Π' comme inscrit dans la sphère qui a l'unité pour rayon. Les arêtes de ce polyèdre sont égales à la corde désignée par a au n° 14 (page 47), et déterminée par la formule (37)

$$a = 2\sqrt{\frac{3-\sqrt{5}}{6}}.$$

Les faces consistent chacune en un pentagone régulier ayant, pour côté, la corde a, et, pour surface, le produit

$$5\,\frac{a^2}{4}\cot\frac{\pi}{5} = 5\,\frac{a^2}{4}\sqrt{\frac{3+\sqrt{5}}{3-\sqrt{5}}} = \frac{5}{3}\sqrt{\frac{3-\sqrt{5}}{3-\sqrt{5}}} = \frac{5}{3}\sqrt{\frac{5-\sqrt{5}}{10}}.$$ *

Soit α l'arc du grand cercle sous-tendu par la corde a. La formule (36) du n° 14 (page 46) donne

$$\cos\alpha = \frac{\sqrt{5}}{3},$$

et, par suite,

$$\sin\alpha = \frac{2}{3}.$$

Il est visible, d'ailleurs, que chacune des lames interceptées par le prisme Π' a, pour surface,

$$\frac{1}{2}\sin\alpha = \frac{1}{3}.$$

Les faces à prendre dans le prisme Π' sont au nombre de onze; les lames

* Voir au besoin les valeurs fournies, pour les quantités $\sin\frac{\pi}{5}$, $\cos\frac{\pi}{5}$, par les formules (54) n° 18 (page 61).

qu'elles remplacent au nombre de 30. Il s'ensuit que leur étendue totale est exprimée, pour les premières, par le produit

$$\frac{55}{3}\sqrt{\frac{5-\sqrt{5}}{10}} = 9{,}6384$$

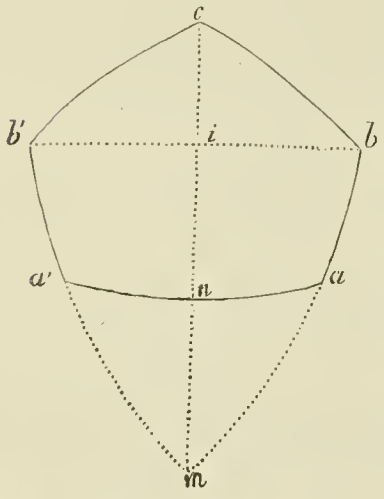
et, pour les secondes, par le nombre 10. Or, on a

$$10 > \frac{55}{3}\sqrt{\frac{5-\sqrt{5}}{10}}\,.$$ *

Cela revient à dire que l'étendue des lames supprimées à l'intérieur du prisme Π' l'emporte sur celle des faces conservées dans ce même prisme. La conséquence est évidente; on peut la formuler comme il suit :

Le système fourni par la combinaison 13 est instable. Il peut se déformer d'après le mode exposé au n° 17.

Fig. 17.



20. Passons au système fourni par la combinaison 15. Les faces du polyèdre correspondant se décomposent en deux groupes, comprenant chacun quatre pentagones semi-réguliers et égaux, accolés à un même carré.

Considérons le polyèdre Π' comme inscrit dans la sphère qui a l'unité pour rayon. Les arêtes de ce polyèdre dérivent toutes du pentagone semi-régulier P, dans lequel le côté aa' est pris égal au côté du quadrilatère régulier Q.

Soit a la corde de l'arc aa'. La formule (25) du n° 13 (page 43) donne

$$a = \frac{2}{3}\sqrt{5}\,.$$

* Cette inégalité revient exactement à la suivante :

$$14641 > 12005.$$

On arriverait au même résultat en se reportant au n° 14 (page 47), et observant que la formule (39), où l'on doit remplacer l'angle M par $\frac{\pi}{2}$, donne, en conséquence,

$$\cos\frac{aa'}{2} = \sqrt{\frac{2}{3}}.$$

On en déduit

$$a = 2\sin\frac{aa'}{2} = \frac{2}{3}\sqrt{3} = 1{,}154005, \tag{62}$$

et, par suite,

$$\sin aa' = \frac{2}{3}\sqrt{2} = 0{,}942809. \tag{63}$$

Soient b et c les cordes qui sous-tendent respectivement, l'une, l'arc ab et son égal $a'b'$; l'autre, l'arc bc et son égal $b'c$. On a, d'abord,

$$b = 2\sin\frac{ab}{2}, \quad c = 2\sin\frac{bc}{2}.$$

La formule (40) du n° 14 (page 47) donne ici *

$$\cos bc = \frac{2\sqrt{2}-1}{3}.$$

On en déduit

$$\sin bc = \frac{2}{3}\sqrt{\sqrt{2}} = 0{,}792805, \tag{64}$$

et, par suite,

$$c = 2\sin\frac{bc}{2} = 2\sqrt{\frac{2-\sqrt{2}}{3}}\ 0{,}8857612. \tag{65}$$

Soit b' la corde qui sous-tend l'arc de grand cercle bb'. En appliquant

* Voir plus haut la valeur de $\cos\frac{aa'}{2}$.

les formules (19) du n° 11 (page 41) aux triangles *bic*, *bim*, *mna*, tous trois rectangles, les deux premiers en i, le dernier en n, on trouve

$$\sin\frac{bb'}{2} = \sin bc.\ \sin 60^\circ = \sqrt{\frac{\sqrt{2}}{2}};$$

$$\sin bm = \frac{\sin\dfrac{bb'}{2}}{\sin\dfrac{\pi}{4}} = 2\sqrt{\frac{\sqrt{2}}{6}};$$

$$\sin am = \frac{\sin\dfrac{aa'}{2}}{\sin\dfrac{\pi}{4}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

De là résulte, en premier lieu,

$$b' = 2\sqrt{\frac{\sqrt{2}}{3}} = 1{,}573177. \tag{66}$$

Il vient, ensuite,

$$\sin ab = \sin(bm - am) = \frac{\sqrt{2} + \sqrt{2\sqrt{2}} - 2}{3} = 0{,}365335, \tag{67}$$

et, par conséquent,

$$b = 2\sin\frac{ab}{2} = 2\sqrt{\frac{4 - \sqrt{2} - 2\sqrt{\sqrt{2}}}{6}} = 0{,}3718154. \tag{68}$$

S'agit-il maintenant des portions de lames interceptées par le prisme Π′? D'après ce qui précède, leur étendue totale a, pour expression,

$$4\left[\sin aa' + \sin bc + \sin ab\right] = \frac{4}{3}\left[3\sqrt{2} + 2\sqrt{\sqrt{2}} + \sqrt{2\sqrt{2}} - 2\right] = 8{,}405796.$$

S'agit-il ensuite des faces de ce même prisme? Deux sont carrées et ont

chacune, pour surface,

$$a^2 = \frac{4}{3} = 1{,}333333.$$

Les autres, au nombre de huit, sont pentagonales et gauches. On peut substituer à chacune un triangle et un trapèze, le triangle étant déterminé par les cordes des arcs *bc*, *cb'*, *b'b*; le trapèze, par celles des arcs *aa'*, *a'b'*, *b'b*, *ba* *. On trouve ainsi, pour la surface du triangle,

$$\frac{b'}{2}\sqrt{c^2 - \frac{b'^2}{4}} = \frac{1}{3}\sqrt{8\sqrt{2} - 10} = 0{,}382055;$$

pour celle du trapèze,

$$\frac{b' + a}{2}\sqrt{b^2 - \left(\frac{b' - a}{2}\right)^2} = \frac{1 + \sqrt{\sqrt{2}}}{3}\sqrt{7 - 3\sqrt{2} - 2\sqrt{\sqrt{2}}} = 0{,}449214,$$

et, par conséquent, pour celle du pentagone,

0,831269.

Supprimons dans le prisme Π' l'une de ses faces carrées, et prenons, pour les neuf autres, la somme de leurs surfaces. Cette somme étant exprimée par le nombre

7,985485,

on voit qu'elle est inférieure à l'étendue des lames interceptées par le prisme Π'. De là résulte, en conséquence, la conclusion suivante :

Le système fourni par la combinaison 15 est instable. Il peut se déformer d'après le mode exposé au n° 17.

Remarque. — Si l'on conservait dans le prisme Π' les deux faces carrées et que l'on supprimât l'une des faces pentagonales, l'étendue totale des faces à considérer augmenterait de la fraction 0,502064 et deviendrait ainsi

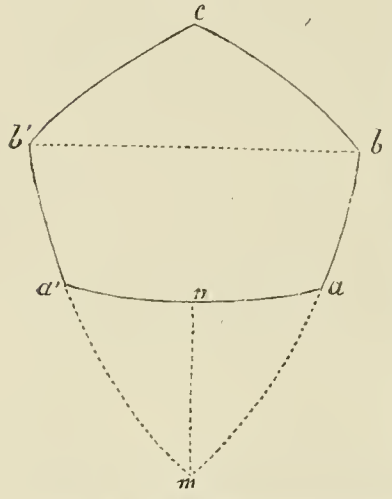
8,485549.

* Cette substitution ne peut avoir d'autre effet que d'attribuer aux faces pentagonales une étendue plus grande que leur étendue réelle, celle-ci étant un minimum entre toutes les surfaces inscriptibles dans le même contour.

Ce dernier nombre l'emporte sur celui qui correspond aux portions de lames interceptées par le prisme Π'. Néanmoins, comme l'excès est relativement très-petit, il n'est pas douteux que, en tenant compte de l'évanouissement des faces contiguës au pentagone supprimé, on arriverait, pour ce cas, à la même conclusion que pour l'autre.

21. Il ne nous reste plus à considérer que le système fourni par la combinaison 17. Le polyèdre correspondant est irrégulier. Il a huit faces dont quatre planes égales et rectangulaires, quatre gauches, égales, pentagonales et semi-régulières. Les faces rectangulaires y sont disposées suivant deux groupes distincts, séparés l'un de l'autre par les pentagones et comprenant chacun deux quadrilatères accolés.

Fig. 18.



Soit $abcb'a'$ le pentagone P, d'où dérivent les faces pentagonales du polyèdre Π', inscrit par hypothèse dans la sphère qui a l'unité pour rayon. Il est visible que les côtés aa' et bc de ce pentagone sont déterminés par cela seul qu'ils ont chacun leur égal dans les deux côtés adjacents d'un même quadrilatère Q. De là résulte, conformément à l'équation (33) du n° 13 (page 45),

$$(69) \qquad 5(\cos bc + \cos aa') = 3\,[1 + \cos bc \cos aa'].$$

On a d'ailleurs, d'après la formule (40) du n° 14 (page 47),

$$\cos\frac{aa'}{2} = \frac{1 + 3\cos bc}{2\sqrt{3}},$$

ou, ce qui revient au même,

$$(70) \qquad \cos aa' = \frac{(1 + 3\cos b)^2 - 6}{6}.$$

La combinaison des équations (69) et (70) donne

$$(71) \qquad 27\cos^3 bc - 27\cos^2 bc - 75\cos bc + 43 = 0.$$

Si, d'ailleurs, on pose

$$x = 3\cos bc, \tag{72}$$

il vient, pour transformée de l'équation (71),

$$x^3 - 3x^2 - 25x + 45 = 0. \tag{73}$$

L'équation (73) a deux racines numériquement supérieures à 3, l'une positive, l'autre négative. Ces deux racines devant être rejetées, on trouve pour solution unique

$$x = 1{,}578557.$$

On en déduit

$$\cos bc = 0{,}52611255, \qquad \cos aa' = 0{,}107970463. \tag{74}$$

S'agit-il ensuite du côté *ab*? On a, d'abord et généralement,

$$\operatorname{tg}\frac{bc}{2} = \sqrt{\frac{1-\cos bc}{1+\cos bc}}, \qquad \operatorname{tg}\frac{aa'}{2} = \sqrt{\frac{1-\cos aa'}{1+\cos aa'}}.$$

Il vient, en outre, d'après la formule (43^{bis}) du n° 14 (page 49),

$$\cot ab = \operatorname{tg}\frac{bc}{2} + 4\operatorname{tg}\frac{aa'}{2}. \tag{75}$$

De là et de ce qui précède résulte, en substituant,

$$\cot ab = \frac{3+\cos bc}{\sin bc}. \tag{76}$$

Les valeurs trouvées ci-dessus pour les quantités cos *bc*, cos *aa'* et cot *ab*, conduisent aux résultats suivants :

$$\left\{\begin{array}{lll} bc = 58^\circ, 15', 25'', & \sin bc = 0{,}850415, & \sin\dfrac{bc}{2} = 0{,}4867685 \\ aa' = 85^\circ, 48', 6'', & \sin aa' = 0{,}994154, & \sin\dfrac{aa'}{2} = 0{,}6678435 \\ ab = 15^\circ, 55', 54'', & \sin ab = 0{,}2544545, & \sin\dfrac{ab}{2} = 0{,}11805275. \end{array}\right. \tag{77}$$

Le calcul du triangle bcb' donne, en même temps,

$$\sin\frac{bb'}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}\sin bc = 0{,}7564808. \tag{78}$$

Cela posé, considérons d'abord les lames interceptées par le polyèdre Π'. Elles ont, pour expression de leur étendue totale,

$$4\sin bc + 3\sin aa' + 2\sin ab = 6{,}85031. \tag{79}$$

Considérons ensuite les faces de ce même polyèdre. Les unes sont rectangulaires, les autres pentagonales. L'étendue des premières est donnée, pour chacune, par le produit

$$4\sin\frac{aa'}{2}\sin\frac{bc}{2} = 1{,}300541. \tag{80}$$

Celle des secondes peut se calculer, comme tout à l'heure, en substituant à chacune, d'une part le triangle défini par les cordes des arcs bb', bc, cb', d'autre part le trapèze défini par les cordes des arcs bb', $b'a'$, $a'a$, ab *.

Le triangle et le trapèze ainsi déterminés ont respectivement pour mesure, le premier,

$$\sin\frac{bb'}{2}\sqrt{4\sin^2\frac{bc}{2} - \sin^2\frac{bb'}{2}} = 2\sin^2\frac{bc}{2}\,\frac{\sin\dfrac{bb'}{2}}{\cos\dfrac{aa'}{2}} = 0{,}468908;$$

le second,

$$\left[\sin\frac{aa'}{2} + \sin\frac{bb'}{2}\right]\sqrt{4\sin^2\frac{ab}{2} - \left[\sin\frac{bb'}{2} - \sin\frac{aa'}{2}\right]^2} = 0{,}517249.$$

De là résulte, pour l'étendue de chacune des faces pentagonales,

$$0{,}786157.$$

* Même observation qu'à la page 67. (Voir la note.)

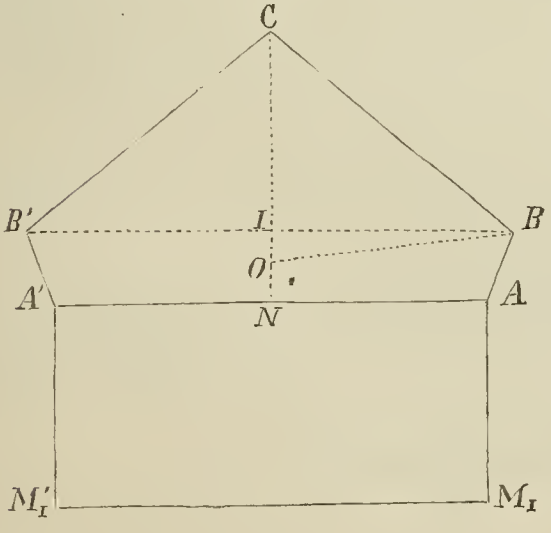
Prenons ensemble trois des faces rectangulaires et les quatre faces pentagonales. Leur étendue totale ayant, pour valeur,

7,045651,

on voit qu'elle l'emporte sur celle des lames qu'elles remplacent. Il suit de là que, avant de rien conclure, il faut poursuivre, comme on l'a fait au n° 18, suivant la marche tracée au n° 17.

Ici se présentent deux observations. La première consiste en ce que la différence entre les deux nombres 7,045651 et 6,85031 est relativement faible; la seconde, en ce que le mode adopté pour le calcul des aires pentagonales donne nécessairement des valeurs exagérées. Eu égard à ces observations, il n'est guère permis de douter que la déformation subséquente doit avoir pour résultat définitif une diminution de l'étendue totale des lames à considérer. C'est, en effet, ce qu'on peut reconnaître en considérant les faces qui restent après l'évanouissement des faces contiguës à celle qu'on a supprimée la première. Elles se réduisent à un pentagone accolé à deux quadrilatères. Le calcul bien conduit réussit, en ce cas, comme dans celui du prisme à base pentagonale. Toutefois il offre encore plus de complication, et nous croyons préférable de suivre une autre marche plus rapide et plus simple. Nous y trouverons l'avantage d'avoir à considérer un nouveau mode de déformation, moins général, mais non moins curieux que celui du n° 17.

Fig. 19.



22. Commençons par déterminer les divers éléments du polyèdre Π. Par hypothèse, il a son centre en O, et il est inscrit dans la sphère qui a l'unité pour rayon.

Soit $M_1M'_1$ la corde de l'arc suivant lequel sont accolés deux des quadrilatères Q. Le polyèdre Π a deux sommets situés respectivement l'un en M_1, l'autre en M'_1 dans le plan $M_1OM'_1$. Les autres sommets se projettent sur ce plan en

A, A′, B, B′, C. Désignons par A_1, A'_1, B_1, B'_1, C_1, ceux qui sont d'un même côté du plan $M_1OM'_1$, et par A_2, A'_2, B_2, B'_2, C_2, ceux qui sont de l'autre côté.

Si l'on tire la droite BB′, et que du point C l'on abaisse sur la droite AA′ la perpendiculaire CN, qui passe par le centre O et qui coupe en son milieu I la corde BB′, on voit aisément que les longueurs IC, AM_1 sont égales, que le centre O est le milieu du segment IN et que l'on a

$$OC = OB = \cos\frac{aa'}{2}\ ^{*}.$$

Il suit d'ailleurs, des données précédentes, que le plan $M_1OM'_1$ divise le prisme Π en deux parties symétriques, et que tout est déterminé dans ce prisme par les équations de condition,

$$M_1M'_1 = AA' = A_1A'_1 = A_2A'_2 = B_1B_2 = B_1B'_2 = 2\sin\frac{aa'}{2}\ ^{*};$$

$$A_1B_1 = A_2B_2 = A'_1B'_1 = A'_2B'_2 = 2\sin\frac{ab}{2}\ ^{*};$$

$$BC = B'C = B_1C_1 = B'_1C_1 = B_2C_2 = B'_2C_2 = M_1A_1 = M_1A_2 = M'_1A'_1 = M'_1A'_2 = 2\sin\frac{bc}{2}\ ^{*};$$

$$BB' = 2BI = B_1B'_1 = B_2B'_2 = A_1A_2 = A'_1A'_2 = 2\sin\frac{bb'}{2}\ ^{*}.$$

On en déduit, d'abord,

(81) $$IO = ON = \sqrt{\cos^2\frac{aa'}{2} - \sin^2\frac{bb'}{2}}$$

(82) $$CI = \cos\frac{aa'}{2} - OI = \sqrt{4\sin^2\frac{bc}{2} - \sin^2\frac{bb'}{2}}$$

(83) $$AB = A'B' = \sqrt{4\,\overline{OI}^2 + \left[\sin\frac{bb'}{2} - \sin\frac{aa'}{2}\right]^2}\ ^{**}.$$

* On observera que les quantités engagées sous les caractéristiques des fonctions circulaires sont les arcs déjà calculés au n° 21, pages 69 et 70.

** On a, d'après la figure,

$$\overline{AB}^2 + \left[\sin\frac{bb'}{2} - \sin\frac{aa'}{2}\right]^2 = 4\sin^2\frac{ab}{2} = \overline{A_1B_1}^2.$$

La formule (35^{bis}) du n° 13 (page 46)

$$2 \operatorname{tg} \frac{aa'}{2} \operatorname{tg}. \frac{bc}{2} = 1$$

donne

$$4 \sin^2 \frac{bc}{2} \sin^2 \frac{aa'}{2} = \cos^2 \frac{bc}{2} \cos^2 \frac{aa'}{2} ,$$

ou, ce qui revient au même,

(84) $$4 \sin^2 \frac{bc}{2} = \cos^2 \frac{aa'}{2} \cdot \left[4 - 3 \cos^2 \frac{bc}{2} \right].$$

Mais, d'un autre côté, l'on a, d'après la formule (78) du n° 21 (page 70),

(85) $$\sin \frac{bb'}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin bc = \sqrt{3} \sin \frac{bc}{2} \cos \frac{bc}{2} .$$

Il en résulte

(1) $$2 \overline{OI}^2 + \left[\sin \frac{bb'}{2} - \sin \frac{aa'}{2} \right]^2 = 2 \sin^2 \frac{ab}{2},$$

et, par suite,

$$\overline{OI}^2 + 1 - 2 \sin \frac{bb'}{2} \sin \frac{aa'}{2} = 2 \sin^2 \frac{ab}{2} .$$

On déduit de là

(2) $$4 \sin^2 \frac{bb'}{2} \sin^2 \frac{aa'}{2} = 2OI^2 + 2 - 4 \sin^2 \frac{ab}{2},$$

et, ajoutant membre à membre les équations (1) et (2),

$$\left[\sin \frac{bb'}{2} + \sin \frac{aa'}{2} \right]^2 = 2 \cos^2 \frac{ab}{2} .$$

De là résulte

$$\sin \frac{bb'}{2} + \sin \frac{aa'}{2} = \sqrt{2} . \cos \frac{ab}{2} .$$

La combinaison des valeurs trouvées ci-dessus pour les quantités $\sin \frac{bb'}{2}$ et CI conduit, d'ailleurs, au résultat suivant :

$$\frac{CI. \cos \frac{aa'}{2} \cdot \sin \frac{bb'}{2}}{\sin bc} = \sqrt{3} . \sin^2 \frac{bc}{2} .$$

Il vient donc aussi

$$(86)\qquad 4\sin^2\frac{bc}{2}-\sin^2\frac{bb'}{2}=\sin^2\frac{bc}{2}\cdot\left[4-3\cos^2\frac{bc}{2}\right]=4\frac{\sin^4\frac{bc}{2}}{\cos^2\frac{aa'}{2}};$$

et l'on peut écrire, en conséquence,

$$(87)\qquad \mathrm{CI}=2\frac{\sin^2\frac{bc}{2}}{\cos\frac{aa'}{2}}.$$

Soit 2ω l'angle que les deux lames A_1OA_1', M_1OM_1' font entre elles. On a, d'après la formule (28) du n° 13 (page 44),

$$\cos\omega=\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\frac{bc}{2},$$

et, d'après l'inspection du triangle COB, dont l'angle en O est précisément l'angle 2ω,

$$\cot\omega=\frac{\mathrm{BI}}{\mathrm{CI}}=\frac{\sin\frac{bb'}{2}\cos\frac{aa'}{2}}{2\sin^2\frac{bc}{2}}=\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\frac{aa'}{2}\cot\frac{bc}{2}.$$

De là résulte

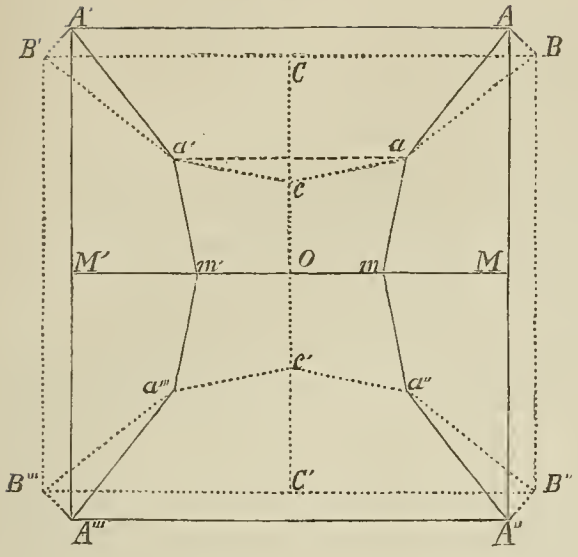
$$2\omega=81°,41',12'',$$

et, par suite,

$$\widehat{\mathrm{OCB}}=\widehat{\mathrm{OBC}}=\frac{1}{2}[\pi-2\omega]=49°,9',24''.$$

23. Partant des données qui précèdent, changeons le plan de projection, et plaçant l'origine au centre O, prenons pour axes des x et des y les droites OM, OC, respectivement parallèles, la première, aux arêtes A_1A_1',

Fig. 20.



$M_1M'_1$, $A_2A'_2$; la seconde, aux arêtes B_1B_2, C_1C_2, $B'_1B'_2$.

Les sommets désignés par ces mêmes lettres se projettent symétriquement comme il suit, sur le plan des xy,

les sommets A_1, A'_1, A_2, A'_2 en A, A', A'', A''';

les sommets B_1, B'_1, B_2, B'_2 en B, B', B'', B''';

les sommets M_1, M'_1, C_1, C_2 en M, M', C, C'.

On a, d'ailleurs,

$$\text{pour } A_1 \begin{cases} x = \sin\dfrac{aa'}{2} \\ y = \sin\dfrac{bb'}{2} \\ z = \text{OI} \end{cases}; \qquad \text{pour } B_1 \begin{cases} x = \sin\dfrac{bb'}{2} \\ y = \sin\dfrac{aa'}{2} \\ z = -\text{OI} \end{cases};$$

$$\text{pour } M_1 \begin{cases} x = \sin\dfrac{aa'}{2} \\ y = o \\ z = \cos\dfrac{aa'}{2} \end{cases}; \qquad \text{pour } C_1 \begin{cases} x = o \\ y = \sin\dfrac{aa'}{2} \\ z = -\cos\dfrac{aa'}{2} \end{cases},$$

et l'on voit aisément comment il suffit de quelques changements de signe pour passer, soit du sommet A_1 aux sommets A'_1, A_2, A'_2, soit du sommet B_1 aux sommets B'_1, B_2, B'_2, soit enfin des sommets M_1 et C_1 aux sommets M'_1 et C_2.

Soient, d'une part, a_1, a'_1, a_2, a'_2, et d'autre part, m_1, m'_1, c_1, c_2, deux groupes de quatre points distribués symétriquement par rapport aux plans XOZ, YOZ et projetés respectivement, les premiers en a, a', a'', a''', les derniers en m, m', c, c'. Posons

$$\text{pour } a_1 \begin{cases} x = x_a \\ y = x_a \\ z = o \end{cases}, \qquad \text{pour } m_1 \begin{cases} x = x_m \\ y = o \\ z = z_m \end{cases}, \qquad \text{pour } c_1 \begin{cases} x = o \\ y = x_m \\ z = z_m \end{cases}.$$

Eu égard à la symétrie qui subsiste de part et d'autre, on passera, comme tout à l'heure, par de simples changements de signe, soit du point a_1 aux points a'_1, a_2, a'_2, soit du point m_1 au point m'_1, soit enfin du point c_1 au point c_2.

Cela posé, voici, par hypothèse, comment la déformation commence :

Des arêtes $M_1M'_1$, C_1C_2 partent deux lames pentagonales, l'une $M_1m_1Om'_1M'_1$ projetée en MM', l'autre $C_1cOc'C_2$ projetée en CC';

Des arêtes $A_1A'_1$, $A_2A'_2$, B_1B_2, $B'_1B'_2$ partent quatre lames pentagonales, $A_1a_1c_1a'_1A'_1$, $A_2a_2c_2a'_2A'_2$, $B_1a_1m_1a_2B_2$, $B'_1a'_1m'_1a'_2B'_2$, projetées en $Aaca'A'$, $A''a''c'a'''A'''$, $Bama''B''$, $B'a'm'a''B'''$;

Des arêtes A_1B_1, $A'_1B'_1$, A_2B_2, $A'_2B'_2$ partent quatre lames triangulaires, $A_1a_1B_1$, $A'_1a'_1B'_1$, $A_2a_2B_2$, $A'_2a'_2B'_2$, projetées en AaB, $A'a'B'$, $A''a''B''$, $A'''a'''B'''$;

Des arêtes A_1M_1, M_1A_2, $A'_1M'_1$, $M'_1A'_2$, B_1C_1, $C_1B'_1$, B_2C_2, $C_2B'_2$ partent huit lames quadrangulaires $A_1a_1m_1M_1$, $M_1m_1a_2A_2$, $A'_1a'_1m'_1M'_1$, $M'_1m'_1a'_2A'_2$, $B_1a_1c_1C_1$, $C_1c_1a'_1B'_1$, $B_2a_2c_2C_2$, $C_2c_2a'_2B'_2$, projetées en $AamM$, $Mma''A''$, $A'a'm'M'$, $M'm'a'''A'''$, $BacC$, $Cca'B'$, $B''a''c'C'$, $C'c'a'''B'''$;

Il se forme en outre quatre lames quadrangulaires $Om_1a_1c_1$, $Oc_1a'_1m'_1$, $Om'_1a'_2c_2$, $Oc_2a_2m_1$, accolées autour du centre O et projetées respectivement en $Omac$, $Oca'm'$, $Om'a'''c'$, $Oc'a''m$.

De là résultent cinq groupes distincts de polygones, tous égaux ou équivalents pour un même groupe, tous différents d'un groupe à un autre.

Observons que les variables x_a, x_m, z_m doivent être considérées comme croissant à partir de zéro. Cela permet qu'on les prenne aussi petites qu'on veut et qu'on en néglige les puissances dont l'exposant dépasse l'unité. La première conséquence à déduire de cette observation, c'est qu'il n'y a pas lieu de faire entrer en ligne de compte les lames quadrangulaires du groupe $Om_1a_1c_1$; la seconde, en ce que les pentagones des groupes $M_1m_1Om'_1M'_1$ et $A_1a_1c_1a'_1A'_1$ peuvent être remplacés chacun des premiers par le trapèze $M_1m_1m'_1M'_1$, chacun des derniers par le trapèze $A_1a_1a'_1A'_1$. Procédons d'après ces indications.

Le trapèze $M_1m_1m'_1M'_1$ a, pour côtés parallèles,

$$M_1M'_1 = 2\sin\frac{aa'}{2}, \qquad m_1m'_1 = 2x_m,$$

et, pour hauteur,

$$\cos\frac{aa'}{2} - z_m .$$

Les deux lames du premier groupe ont ainsi, pour étendue totale,

$$2\left(\sin\frac{aa'}{2} + x_m\right)\left(\cos\frac{aa'}{2} - z_m\right) = \sin aa' + 2\,x_m\cos\frac{aa'}{2} - 2\,z_m\sin\frac{aa'}{2} .$$

Le trapèze $A_1a_1a_1'A_1'$ a, pour côtés parallèles,

$$A_1A_1' = 2\sin\frac{aa'}{2}, \qquad a_1a_1' = 2\,x_a,$$

et, pour hauteur,

$$\sqrt{\overline{OI}^2 + \left[\sin\frac{bb'}{2} - x_a\right]^2} = \sqrt{\overline{OI}^2 + \sin^2\frac{bb'}{2}}\left[1 - \frac{\sin\frac{bb'}{2}\cdot x_a}{\overline{OI}^2 + \sin^2\frac{bb'}{2}}\right] = \cos\frac{aa'}{2}\cdot\left[1 - \frac{\sin\frac{bb'}{2}}{\cos^2\frac{aa'}{2}}x_a\right]^*.$$

Les quatre lames du second groupe ont ainsi, pour étendue totale,

$$4\left[\sin\frac{aa'}{2} + x_a\right]\left[\cos\frac{aa'}{2} - \frac{\sin\frac{bb'}{2}}{\cos\frac{aa'}{2}}x_a\right] = 2\sin aa' + 4\left[\cos\frac{aa'}{2} - \sin\frac{bb'}{2}\,\mathrm{tg}\,\frac{aa'}{2}\right]x_a .$$

Le triangle $A_1a_1B_1$ est isocèle. Il a, pour base,

$$A_1B_1 = 2\sin\frac{ab}{2},$$

* On a trouvé au n° 22, page 72,

$$OI = \sqrt{\cos^2\frac{aa'}{2} - \sin^2\frac{bb'}{2}} .$$

Il en résulte

$$\overline{OI}^2 + \sin^2\frac{bb'}{2} = \cos^2\frac{aa'}{2} .$$

et, pour hauteur, la droite qui joint le point a ou a_1 au milieu du segment A_1B_1. Ce milieu, situé dans le plan des xy, a pour coordonnées

$$x = y = \frac{1}{2}\left[\sin\frac{aa'}{2} + \sin\frac{bb'}{2}\right],$$

ce qui donne pour sa distance au point O

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\left[\sin\frac{aa'}{2} + \sin\frac{bb'}{2}\right],$$

et, pour la hauteur cherchée,

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\left[1 - \frac{2\,x_a}{\sin\frac{aa'}{2} + \sin\frac{bb'}{2}}\right]\left[\sin\frac{aa'}{2} + \sin\frac{bb'}{2}\right] = \cos\frac{ab}{2}\left[1 - \frac{2\,x_a}{\sin\frac{aa'}{2} + \sin\frac{bb'}{2}}\right]^{*}.$$

Les quatre lames du troisième groupe ont ainsi, pour étendue totale,

$$4\sin\frac{ab}{2}\cos\frac{ab}{2}\left[1 - \frac{2\,x_a}{\sin\frac{aa'}{2} + \sin\frac{bb'}{2}}\right] = 2\sin ab - 4\,\frac{\sin ab}{\sin\frac{aa'}{2} + \sin\frac{bb'}{2}}\,x_a = 2\sin ab - 4\sqrt{2}\sin\frac{ab}{2}\cdot x_a$$

Le quadrilatère $A_1a_1m_1M_1$ peut être remplacé par les deux triangles $A_1a_1m_1$, $a_1M_1m_1$. La surface de ces triangles est donnée par la formule générale

$$\frac{1}{2}\sqrt{[(x'-x)(z''-z') - (z'-z)(x''-x')]^2 + [(y'-y)(x''-x') - (x'-x)(y''-y')]^2 + [(z'-z)(y''-y') - (y'-y)(z''-z')]^2}.$$ **

où l'on doit poser, pour le premier (le point a_1 étant son sommet, et le seg-

* On observera que l'on a, d'après une des formules du n° 22 (Voir page 75, en note),

$$\sin\frac{aa'}{2} + \sin\frac{bb'}{2} = \sqrt{2}\cdot\cos\frac{ab}{2}.$$

** Soit D une droite menée par les points (x', y', z'), (x'', y'', z''). La perpendiculaire abaissée du point (x, y, z) sur la droite D a, pour expression générale,

$$\sqrt{\frac{m^2 + n^2 + [a(y'-y) - b(x'-x)]^2}{a^2 + b^2 + 1}}$$

ment A_1M_1 sa base)

$$a.\begin{cases} x = x_a \\ y = x_a, \\ z = o \end{cases} \quad A_1\begin{cases} x'' = \sin\dfrac{aa'}{2} \\ y'' = \sin\dfrac{bb'}{2}, \\ z'' = \mathrm{OI} \end{cases} \quad M_1\begin{cases} x' = \sin\dfrac{aa'}{2} \\ y' = o \\ z' = \cos\dfrac{aa'}{2} \end{cases} \quad z'' - z' = \mathrm{OI} - \cos\frac{aa'}{2} = -\mathrm{IC},$$

et, pour le second, (le point M_1 étant son sommet et le segment a_1m_1 sa base)

$$M_1\begin{cases} x = \sin\dfrac{aa'}{2} \\ y = o \\ z = \cos\dfrac{aa'}{2} \end{cases}, \quad a_1\begin{cases} x'' = x_a \\ y'' = x_a, \\ z'' = o \end{cases} \quad m_1\begin{cases} x' = x_m \\ y' = o \\ z' = z_m \end{cases}.$$

On trouve ainsi, pour la surface S du triangle $A_1a_1M_1$,

$$S = \frac{1}{2}\sqrt{\left[\sin\frac{aa'}{2} - x_a\right]^2\left[\overline{\mathrm{CI}}^2 + \sin^2\frac{bb'}{2}\right] + \left[\cos\frac{aa'}{2}\sin\frac{bb'}{2} - x_a\,\mathrm{CI}\right]^2},$$

ou développant *

$$S = \frac{1}{2}\sqrt{4\sin^2\frac{bc}{2}\sin^2\frac{aa'}{2} + \cos^2\frac{aa'}{2}\sin^2\frac{bb'}{2} - 2x_a\left[4\sin^2\frac{bc}{2}\sin\frac{aa'}{2} + \mathrm{CI}\cos\frac{aa'}{2}\sin\frac{bb'}{2}\right]}.$$

les quantités a, b, m, n étant données par les équations de condition

$$a = \frac{x'' - x'}{z'' - z'}, \quad b = \frac{y'' - y'}{z'' - z'}, \quad m = x' - x - a(z' - z), \quad n = y' - y - b(z' - z).$$

Il s'ensuit que, en désignant par S la surface du triangle dont les trois sommets sont respectivement en (x, y, z), (x', y', z'), (x'', y'', z''), on a généralement

$$S = \frac{1}{2}\sqrt{[(x' - x)(z'' - z') - (z' - z)(x'' - x')^2]^2} + \text{etc.}$$

* On observera que, d'après la formule (82) du n° 22 (page 72), on a

$$\mathrm{CI} = \sqrt{4\sin^2\frac{bc}{2} - \sin^2\frac{bb'}{2}},$$

et, par suite,

$$\overline{\mathrm{CI}}^2 + \sin^2\frac{bb'}{2} = 4\sin^2\frac{bc}{2}.$$

Or on a

$$4 \sin^2 \frac{bc}{2} \sin^2 \frac{aa'}{2} + \cos^2 \frac{aa'}{2} \sin^2 \frac{bb'}{2} = \sin^2 bc \text{ *}.$$

De là résulte, en substituant et réduisant,

$$S = \frac{1}{2} \sin bc - \left[\sin \frac{aa'}{2} \operatorname{tg} \frac{bc}{2} + \frac{\text{Cl} \cos \frac{aa'}{2} \sin \frac{bb'}{2}}{2 \sin bc} \right] x_a ,$$

ou, plus simplement encore, **

$$S = \frac{1}{2} \sin bc - \left[\sin \frac{aa'}{2} \operatorname{tg} \frac{bc}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin^2 \frac{bc}{2} \right] x_a .$$

* La surface S se réduisant à $\frac{1}{2} \sin bc$ dans l'hypothèse $x_a = 0$, il s'ensuit qu'on doit avoir nécessairement

$$4 \sin^2 \frac{bc}{2} \sin^2 \frac{aa'}{2} + \cos^2 \frac{aa'}{2} \sin^2 \frac{bb'}{2} = \sin^2 bc.$$

On le vérifie d'ailleurs au moyen des formules (84) et (85) du n° 22 (page 75). La première donne

$$\cos^2 \frac{bc}{2} = \sin^2 \frac{aa'}{2} + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos^2 \frac{aa'}{2} \cos^2 \frac{bc}{2},$$

et l'on a, d'après la seconde,

$$\sin^2 \frac{bb'}{2} = 3 \sin^2 \frac{bc}{2} \cos^2 \frac{bc}{2} .$$

De là résulte, en premier lieu,

$$4 \sin^2 \frac{bc}{2} \cos^2 \frac{bc}{2} = 4 \sin^2 \frac{bc}{2} \sin^2 \frac{aa'}{2} + 3 \cos^2 \frac{aa'}{2} \sin^2 \frac{bc}{2} \cos^2 \frac{bc}{2},$$

et, par suite,

$$\sin^2 bc = 4 \sin^2 \frac{bc}{2} \sin^2 \frac{aa'}{2} + \cos^2 \frac{aa'}{2} \sin^2 \frac{bb'}{2} .$$

** En se reportant à la dernière des formules établies dans la note du n° 22 (page 75), on voit que l'on a

$$\frac{\text{Cl.} \cos \frac{aa'}{2} \sin \frac{bb'}{2}}{\sin bc} = \sqrt{3}. \sin^2 \frac{bc}{2} .$$

On trouve de même, pour la surface S′ du triangle $a_1M_1m_1$,

$$S' = \frac{1}{2}\sqrt{\left[z_m\left(\sin\frac{aa'}{2} - x_m\right) + \left(x_a - x_m\right)\cos\frac{aa'}{2}\right]^2 + x_a^2\left[\left(x_m - \sin\frac{aa'}{2}\right)^2 + \left(z_m - \cos\frac{aa'}{2}\right)^2\right]},$$

et, après réduction,

$$S' = \frac{1}{2}\sqrt{x_a^2 + \left[z_m \sin\frac{aa'}{2} + (x_a - x_m)\cos\frac{aa'}{2}\right]^2}.$$

Les huit lames du quatrième groupe ont ainsi, pour étendue totale,

$$4\sin bc - \left[8\sin\frac{aa'}{2}\operatorname{tg}\frac{bc}{2} + 4\sqrt{5}\sin^2\frac{bc}{2}\right]x_a + 4\sqrt{x_a^2 + \left[z_m\sin\frac{aa'}{2} + (x_a - x_m)\cos\frac{aa'}{2}\right]^2}.$$

Désignons par Σ la surface que présentent, dans leur ensemble, toutes les lames à considérer. Si l'on fait la somme des aires partielles déterminées ci-dessus, et qu'on ait égard à la relation

$$2\sin\frac{aa'}{2}\operatorname{tg}\frac{bc}{2} = \cos\frac{aa'}{2},$$ *

on trouve

$$\Sigma = \begin{cases} 4\sin bc + 3\sin aa' + 2\sin ab \\ + 2\left[x_m\cos\dfrac{aa'}{2} - z_m\sin\dfrac{aa'}{2}\right] - 4x_a\left[\sin\dfrac{bb'}{2}\operatorname{tg}\dfrac{bc}{2} + \sqrt{2}\sin\dfrac{ab}{2} + \sqrt{5}\sin^2\dfrac{bc}{2}\right] \\ + 4\sqrt{x_a^2 + \left[z_m\sin\dfrac{aa'}{2} + (x_a - x_m)\cos\dfrac{aa'}{2}\right]^2}. \end{cases}$$

L'indétermination des quantités z_m et x_m permettant que l'on pose

$$z_m\sin\frac{aa'}{2} = x_m\cos\frac{aa'}{2},$$

* Cette relation se déduit immédiatement de la formule (35bis) du n° 13 (page 46)

$$2\operatorname{tg}\frac{aa'}{2}\operatorname{tg}\frac{bc}{2} = 1.$$

il vient plus simplement

$$\Sigma = 4 \sin bc + 3 \sin aa' + 2 \sin ab - 4 x_a \left[\sin \frac{bb'}{2} \operatorname{tg} \frac{bc}{2} + \sqrt{2} \sin \frac{ab}{2} + \sqrt{3} \sin^2 \frac{bc}{2} - \sqrt{1 + \cos^2 \frac{aa'}{2}} \right].$$

On a d'ailleurs, en faisant les substitutions numériques,

$$\sin \frac{bb'}{2} \operatorname{tg} \frac{bc}{2} + \sqrt{2} \sin \frac{ab}{2} + \sqrt{3} \sin^2 \frac{bc}{2} = 1{,}538609,$$

et

$$\sqrt{1 + \cos^2 \frac{aa'}{2}} = 1{,}246590.$$

On peut donc écrire, comme dernier résultat,

$$\Sigma = 4 \sin bc + 3 \sin aa' + 2 \sin ab - 1{,}168076.\ x_a$$

Il en résulte que la déformation supposée implique à l'origine une diminution de l'étendue totale des lames à considérer. On peut, en conséquence, poser la conclusion suivante :

Le système fourni par la combinaison 17 est instable. Il peut se déformer d'après le mode exposé ci-dessus.

24. Nous avons déterminé au n° 10 les diverses combinaisons géométriquement possibles. Elles se réduisent à sept et portent les numéros d'ordre 1, 7, 13, 15, 17, 18 et 19. L'instabilité des systèmes liquides qui leur correspondent a été démontrée successivement :

1° Au numéro 16, pour les combinaisons 17 et 19, autrement dit pour les polyèdres représentés respectivement, l'un par le prisme droit à base triangulaire, l'autre par le cube;

2° Au numéro 18, pour la combinaison 18, autrement dit pour le cas du prisme droit à base pentagonale;

3° Au numéro 19, pour la combinaison 13, autrement dit pour le cas du dodécaèdre régulier;

4° Au numéro 20, pour la combinaison 15, autrement dit pour le cas

du polyèdre irrégulier qui présente deux faces planes et carrées, huit faces gauches, pentagonales et semi-régulières;

5° Aux numéros 21, 22 et 23, pour la combinaison 17, autrement dit pour le cas du polyèdre irrégulier qui présente quatre faces planes rectangulaires, quatre faces gauches pentagonales et semi-régulières.

Il suit de là que, s'il existe, en réalité, sept systèmes géométriquement possibles, il n'en est qu'un cependant qui satisfasse aux conditions de l'équilibre stable, et qui puisse, en conséquence, persister d'une manière permanente. Ce système unique est celui que fournit la combinaison 1 : le polyèdre qui lui correspond est le tétraèdre régulier. Il n'admet, comme issues d'un même sommet libre, que quatre arêtes liquides faisant entre elles des angles égaux *.

Le résultat auquel nous venons de parvenir implique la déduction suivante :

Dans tout système de lames planes, l'aire totale ne peut être un minimum que si les arêtes issues d'un même sommet libre se réduisent à quatre, et font entre elles des angles égaux.

Cette déduction s'étend d'elle-même au cas d'un système quelconque de lames liquides planes ou courbes. Pour s'en convaincre, il suffit d'observer que si l'on restreint suffisamment l'étendue des lames issues d'un même sommet libre, on peut considérer chacune d'elles comme se confondant avec la partie correspondante du plan qui la touche en ce même sommet **. On peut d'ailleurs, sans rien changer aux calculs qui précèdent, réduire, autant qu'on veut, la longueur prise à la fois pour unité et pour rayon de la sphère circonscrite aux polyèdres Π. Le cas des lames courbes se ramène ainsi très-simplement à celui des lames planes, et l'on a, plus généralement, ce nouvel énoncé :

Dans tout système de lames, l'aire totale ne peut être un minimum que si les arêtes issues d'un même sommet libre se réduisent à quatre, et font entre elles des angles égaux.

* Ces angles sont déterminés rigoureusement par la valeur de leur cosinus, qui est égale à $-\frac{1}{3}$. Leur ouverture est de 109°,18′,16″, à moins d'une seconde d'erreur.

** Une même lame ne peut avoir en chacun de ses points, au sommet comme ailleurs, qu'un seul plan tangent. La loi de continuité ne permet pas ici d'autre hypothèse.

Rapprochons cet énoncé de celui que nous avons formulé à la fin du n° 3 (page 26). En les résumant tous deux, nous avons la solution complète du problème que nous nous étions proposé, et nous pouvons la formuler comme il suit :

Dans tout système de lames liquides deux conditions sont nécessaires pour que la somme totale des aires puisse être un minimum, et qu'il y ait, en conséquence, stabilité d'équilibre :

Il faut, d'abord, que les lames, aboutissant à une même arête liquide, soient au nombre de trois et se coupent deux à deux sous l'angle de 120°;

Il faut, ensuite, que les arêtes issues d'un même sommet libre soient au nombre de quatre et se coupent deux à deux sous l'angle de 109°,28',16'', ou, plus exactement, sous l'angle dont le cosinus est $-\frac{1}{3}$.

DEUXIÈME PARTIE.

VÉRIFICATIONS EXPÉRIMENTALES.

PREMIÈRE SECTION.

GÉNÉRALITÉS CONCERNANT LES POLYÈDRES TYPES ET LEURS DÉRIVÉS.

N. B. Nous désignons sous le nom de polyèdres types les sept polyèdres déterminés, dans la première partie, comme étant les seuls dont la réalisation soit géométriquement possible. Les dérivés s'obtiennent en modifiant une ou plusieurs dimensions des polyèdres types.

25. La théorie que nous venons de développer n'est pas seulement spéculative : elle a ses moyens de contrôle dans une série d'expériences qui se coordonnent et se déterminent d'après les données précédentes. Ces expériences, déjà très-curieuses en elles-mêmes, offrent ici d'autant plus d'intérêt qu'elles confirment et vérifient toutes les déductions du calcul. Sous ce rapport, il convient que nous entrions dans de nouveaux détails, ne fût-ce que pour fixer, d'une manière précise, les dimensions des polyèdres à construire et la façon de les mettre en œuvre.

Un mot d'abord sur la nature des appareils. Tout fil, qui présente une certaine rigidité et qui contracte adhérence * avec le liquide dont on se sert,

* On n'obtient pas toujours une adhérence convenable. Il faut alors oxyder les carcasses dans toutes leurs parties et particulièrement aux soudures. On y parvient au moyen d'une ou plusieurs immersions dans un bain légèrement acidulé.

peut être employé à la confection des carcasses polyédriques. Le fil de fer réussit bien avec une épaisseur d'un demi-millimètre à un millimètre. Le fil de zinc est moins roide. Si on le substitue au fil de fer, il faut le prendre un peu plus gros ou diminuer les dimensions des carcasses. Le liquide peut être tout simplement de l'eau de savon *, comme celle dont on se sert pour souffler des bulles. M. Plateau emploie de préférence un composé d'eau de savon et de glycérine qu'il désigne sous le nom de *liquide glycérique* **. Il obtient ainsi des systèmes de lames qui persistent très-longtemps dans la forme qu'ils affectent à l'état d'équilibre stable. L'eau simple de savon ne comporte que de courtes durées : elle peut néanmoins suffire et se prêter, entre certaines limites, à l'observation des principaux phénomènes.

La carcasse sur laquelle on expérimente devant être plongée tout entière dans l'eau de savon, on peut l'en retirer au moyen d'une tige qui fait corps avec elle, ou bien encore au moyen d'un fil de fer plié en deux et recourbé en agrafe à chacune de ses extrémités. Le premier moyen a été employé par

* Le savon dont nous avons fait usage est celui de Marseille. Il nous a donné de bons résultats.

** La préparation du liquide glycérique exige certaines précautions. Voici les principales, suivant les indications que M. Plateau a bien voulu nous donner pour le savon de Marseille et la glycérine française de Lamoureux, d'après de nouvelles recherches encore inédites :

Prendre, à défaut d'eau distillée, de l'eau de pluie. En poids, trente parties d'eau pour une de savon. Débiter le savon en copeaux minces et le faire dissoudre dans l'eau à une chaleur modérée. Laisser refroidir la dissolution et, après l'avoir filtrée, la mêler à un volume égal de glycérine. Ce mélange doit être fait avec soin dans un flacon qu'on agite fortement et longtemps.

Cela posé, achever comme il suit, d'après la saison :

En été, laisser reposer le mélange pendant sept jours; le plonger ensuite dans de l'eau entretenue à 3 ou 4 degrés au-dessus de zéro et l'y laisser six heures. Après cette immersion, pendant laquelle le mélange se trouble fortement, filtrer à travers du papier Prat-Dumas, en tenant plongé dans le filtre un bocal rempli de morceaux de glace. Le produit de la filtration donne, après six ou sept jours d'attente, un bon liquide glycérique.

En hiver, déposer le mélange en un lieu dont la température ne s'abaisse pas au-dessous de zéro et ne s'élève point au-dessus de 4° pour la nuit, de 9° pour le jour. Attendre ainsi pendant sept jours, puis filtrer à travers du papier Prat-Dumas, en ayant soin d'opérer à une température qui s'écarte peu de 4°. Le produit de la filtration est le liquide glycérique.

Ainsi préparé, le liquide glycérique peut se conserver très-longtemps; plusieurs mois au moins, sinon plus d'une année. S'il se décompose ou s'altère, on le fait bouillir pendant quelques minutes. On le filtre ensuite à travers un tissu en coton serré.

M. Plateau dans ses expériences; ici j'ai préféré le second. La double agrafe se prête mieux que la simple tige à disposer les carcasses polyédriques de manière à ce que leur émersion commence ou finisse par une partie quelconque déterminée d'avance. Il faut éviter, dans tous les cas, que le fil de fer servant de tige ou d'agrafes ne contracte avec le liquide des adhérences qui ne laisseraient point aux lames partant des arêtes la faculté de se diriger librement vers l'intérieur, ou qui introduiraient des lames additionnelles. Les précautions les plus simples suffisent à cet égard.

Nous avons constaté, par expérience, qu'on peut très-bien réussir avec l'eau de savon lorsqu'on donne aux polyèdres à construire les dimensions qui correspondent à leur inscription dans une sphère de cinq centimètres de rayon. Pour ramener à cette échelle les résultats numériques obtenus dans la première partie, il suffit de les diviser par le nombre deux et de les rapporter au décimètre pris pour unité principale. C'est ainsi que nous procéderons dans les numéros suivants.

26. Considérons les lames qui partent des différentes arêtes d'un polyèdre donné Π, et qui vont concourir en son centre. Elles comportent, en général, plusieurs modes de déformation compatibles avec une diminution de leur étendue totale. Lorsque l'on connaît d'avance l'un ou l'autre de ces modes, on peut se rendre compte des dispositions qui lui correspondent dans le système permanent qui en dérive. On peut aussi déterminer comment l'émersion doit se faire pour arriver plus vite à la formation du système qu'on veut réaliser. Le procédé décrit au n° 17, page 53, offre, à cet égard, de précieuses ressources. Il permet, en effet, de reconnaître, *a priori*, pour chacun des polyèdres types, l'une au moins des dispositions générales qui lui correspondent dans l'état d'équilibre stable des lames intérieures. Réduit à son expression la plus simple, voici en quoi consiste le procédé dont il s'agit :

Étant donné le polyèdre sur lequel on veut opérer, on choisit arbitrairement l'une de ses faces, et, par la pensée, on supprime non-seulement cette face, mais aussi toutes celles qui lui sont contiguës, les faces, arêtes et sommets non contigus à la face choisie étant seuls conservés. Cela fait, on n'a plus qu'à considérer les parties restantes. Elles déterminent, par leur nombre,

leur espèce et leur disposition, la disposition, l'espèce et le nombre des parties libres * *du système liquide correspondant.*

Pour bien faire comprendre ce procédé, nous allons l'appliquer successivement à chacun des polyèdres types.

27. Commençons par le tétraèdre, et prenons l'une quelconque de ses faces. Si nous supprimons cette face et ses arêtes, si nous supprimons en même temps les faces qui lui sont contiguës et les arêtes qu'elles comprennent entre elles, il ne reste que le sommet opposé à la face supprimée la première. On peut en conclure que le système correspondant des lames intérieures ne présente qu'un seul sommet libre. Il est, d'ailleurs, aisé de voir que ce sommet doit être au centre et se rattacher par quatre arêtes liquides aux quatre sommets du tétraèdre. Les faits sont en complet accord avec ces déductions.

28. Soit, en second lieu, le prisme droit à base triangulaire. Ses faces sont de deux espèces; les unes ont trois côtés, les autres quatre. Elles sont, d'ailleurs, au nombre total de cinq.

Supprimons d'abord l'une des bases. Nous devons supprimer ensuite les trois faces latérales. Il ne reste, en conséquence, qu'une seule face, la base non supprimée. Concluons, par rapport au système correspondant des lames intérieures, qu'il présente une *lame libre* unique, triangulaire, parallèle aux bases du prisme et disposée comme elles, à égale distance de l'une et de l'autre. Cette solution nous ramène au mode de déformation que nous avons admis et démontré possible au n° 16, pages 49 et suivantes.

Imaginons ensuite que la face supprimée la première soit une face latérale. Elle est contiguë aux quatre autres et détermine, en conséquence, leur évanouissement simultané. Il ne reste, ainsi, que l'arête opposée à la face latérale supprimée la première. Le système qui correspond à ce cas ne comporte qu'une seule *arête libre*, évidemment dirigée suivant l'axe du prisme. Nous dirons plus loin comment il se réalise pour les lames intérieures, lorsqu'on augmente la hauteur du prisme sans changer sa base.

* On entend par parties *libres* celles qui restent en dehors de toute arête solide. Tels sont les sommets libres déjà définis; les arêtes comprises entre ces sommets; les lames que ces mêmes arêtes circonscrivent.

29. Soit, en troisième lieu, le cube, autrement dit l'hexaèdre régulier. Toutes les faces sont de même espèce, égales et carrées. Elles sont d'ailleurs au nombre de six. Peu importe celle qu'on supprime d'abord; elle fait disparaître avec elle les quatre faces qui lui sont contiguës, et ne laisse ainsi subsister qu'une face unique, celle qui lui est opposée. Concluons que le système correspondant des lames intérieures présente une lame quadrangulaire, parallèle à deux faces opposées du cube, équidistante de ces faces et disposée comme elles. Cette solution nous ramène, comme tout à l'heure, au mode de déformation que nous avons admis et démontré possible au n° 16.

30. Soit, en quatrième lieu, le prisme droit à base pentagonale. Ses faces, au nombre de sept, sont de deux espèces, les unes ayant cinq côtés et les autres quatre.

Supprimons d'abord l'une des bases. L'évanouissement des faces latérales qui lui sont contiguës ne laisse subsister qu'une face, la base non supprimée. Concluons, par rapport au système correspondant des lames intérieures, qu'il présente une *lame libre* unique, pentagonale, parallèle aux bases et disposée comme elles, à égale distance de l'une et de l'autre. Nous verrons plus loin comment ce système peut se produire et persister lorsqu'on diminue la hauteur du prisme, sans changer sa base.

Au lieu de choisir une des bases du prisme pour la supprimer la première, prenons une des faces latérales. La suppression de cette face implique celle des deux faces latérales qui lui sont contiguës et, en outre, celle des deux bases du prisme. Il reste ainsi deux faces latérales accolées l'une à l'autre. On doit en conclure que le système correspondant des lames intérieures présente *deux lames libres* quadrangulaires, réunies par une arête dont le plan contient l'axe du prisme, et donnant ensemble *six sommets libres* distincts. Cette solution nous ramène au mode de déformation que nous avons admis et démontré possible au n° 18, pages 57 et suivantes.

31. Soit, en cinquième lieu, le dodécaèdre régulier. Ses faces, au nombre de douze, sont toutes de même espèce et pentagonales. Quelle que soit celle que l'on commence par supprimer, elle fait disparaître avec elle les cinq faces qui lui sont contiguës et laisse ainsi subsister la moitié du dodécaèdre. Il en résulte, par rapport au système correspondant des lames intérieures,

qu'il doit présenter *six faces libres* pentagonales, dont cinq sont accolées entre elles et à la sixième. Ces six faces, disposées comme celles qui leur correspondent dans le dodécaèdre, portent au nombre de quinze les sommets libres du système intérieur. Cette solution s'accorde avec le mode de déformation que nous avons admis et démontré possible au n° 19, pages 63 et 64.

32. Soit, en sixième lieu, le polyèdre semi-régulier fourni par la combinaison 17 et comprenant deux groupes égaux, composés chacun de quatre pentagones accolés entre eux et à un même carré.

Si nous supprimons d'abord l'un des deux carrés, nous devons supprimer en même temps les quatre pentagones qui lui sont contigus. Il reste ainsi l'un des deux groupes dont le polyèdre se compose, et rien que ce groupe. Concluons, par rapport au système correspondant des lames intérieures, qu'il présente un groupe de cinq *lames libres* formé d'un quadrilatère central et de quatre pentagones accolés. Ce groupe est disposé comme celui qui lui correspond dans le polyèdre. Les *sommets libres* qu'il fournit sont au nombre de douze. Cette solution nous ramène au mode de déformation que nous avons admis et démontré possible au n° 20, pages 64 et suivantes.

Concevons maintenant que la face supprimée la première soit une des faces pentagonales. Elle fait disparaître avec elle le quadrilatère et les deux pentagones qui lui sont contigus dans le groupe auquel elle appartient. Elle fait disparaître en outre les deux pentagones qui lui sont accolés dans le second groupe. Il reste ainsi quatre faces dont l'une est carrée, les trois autres pentagonales. La face carrée est accolée à deux des pentagones. Les trois pentagones sont accolés entre eux autour d'un même point central. On doit en conclure que le système correspondant des lames intérieures présente *quatre lames libres*, l'une quadrangulaire, les trois autres pentagonales. Le groupe formé par ces lames est disposé comme celui qui lui correspond dans le polyèdre après les suppressions indiquées ci-dessus. Les sommets libres qu'il fournit sont, comme tout à l'heure, au nombre de douze. Cette solution s'accorde avec le mode de déformation que nous avons signalé comme possible dans la remarque placée à la fin du n° 20, page 67.

33. Soit en septième et dernier lieu le polyèdre semi-régulier fourni par la combinaison 17 et comprenant deux groupes égaux, formés chacun de

deux rectangles et de deux pentagones. Dans chacun de ces groupes les rectangles sont accolés entre eux par l'un de leurs grands côtés. C'est d'ailleurs par leurs petits côtés qu'ils s'accolent aux deux pentagones.

Les faces étant de deux espèces, on peut supprimer d'abord, soit un rectangle, soit un pentagone.

Dans le premier cas, l'un des deux groupes disparaît tout entier et, avec lui, l'un des pentagones du second groupe. Il ne reste donc que deux rectangles accolés et comprenant entre eux un pentagone. Dans le second cas, le pentagone supprimé fait disparaître avec lui trois rectangles et deux pentagones. Il ne reste plus alors qu'un pentagone accolé à un rectangle. Concluons, par rapport aux systèmes correspondants des lames intérieures, qu'ils sont au nombre de deux. Le premier présente *trois lames libres,* dont deux quadrangulaires et une pentagonale, accolées entre elles autour d'un même point, disposées comme les faces qui leur correspondent dans le polyèdre et fournissant *huit sommets libres.* Le second présente *deux lames libres,* l'une quadrangulaire, l'autre pentagonale, accolées l'une à l'autre, disposées comme les faces qui leur correspondent dans le polyèdre, et déterminant *sept sommets libres.* La première de ces solutions nous ramène au mode de déformation que nous avons indiqué comme possible à la fin du n° 21, page 71; la seconde exige pour se réaliser, à l'état permanent, que l'on modifie le polyèdre II. Il suffit, à cet effet, d'opérer exclusivement sur ses quatre plus petites arêtes, et d'en augmenter un peu la longueur.

34. Lorsqu'on procède, ainsi que nous venons de le faire, à la détermination du mode suivant lequel le système des lames intérieures peut se déformer, il est plusieurs points importants qu'il ne faut pas perdre de vue.

On observera, d'abord, que les systèmes primitifs à considérer, *d'après la marche que nous avons suivie,* consistent essentiellement en une suite de lames triangulaires ayant toutes leur sommet en un même point central, et chacun, pour base, l'une des arêtes du polyèdre donné. Lorsqu'on soumet les résultats du calcul à l'épreuve expérimentale, et que, s'en tenant au procédé le plus simple, on se borne à retirer du liquide, où on l'a plongé, le polyèdre sur lequel on expérimente, on opère dans des conditions mal choisies pour réaliser, ne fût-ce qu'un instant, les systèmes primitifs qu'il

s'agirait d'obtenir comme points de départ. On conçoit donc que les faits expérimentaux pourraient sembler en désaccord avec les indications théoriques et cependant ne pas les infirmer.

On doit observer ensuite que les systèmes résultant d'une déformation quelconque ne peuvent conserver la disposition qu'on leur prête pendant leur développement et s'y arrêter d'une manière définitive, que s'ils satisfont tout d'abord aux deux lois qui limitent respectivement, l'une à trois le nombre des lames aboutissant à une même arête liquide, l'autre à quatre le nombre des arêtes liquides issues d'un même sommet libre. Lors donc qu'on a reconnu, pour un mode déterminé de déformation, qu'il correspond à une diminution de l'étendue totale des aires à considérer, il ne s'ensuit pas que ce mode soit nécessairement réalisable, ni surtout qu'il implique, comme résultat final et permanent, un état d'équilibre où se retrouveraient les dispositions générales admises à l'origine de la déformation. Avant de rien conclure, il faut au moins s'assurer que le mode dont il s'agit remplit les conditions voulues en ce qui concerne les limitations numériques rappelées ci-dessus. Cette vérification réussit pour tous les cas mentionnés dans les sept numéros précédents. Veut-on le démontrer *a priori* et déterminer d'une manière plus précise l'état final et permanent qui correspond, en général, pour chacun des polyèdres types au mode de déformation du n° 17? on peut procéder comme il suit :

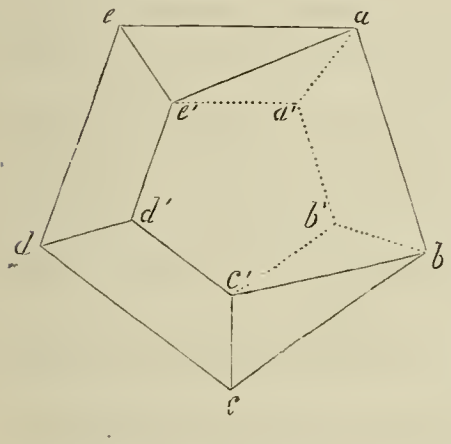
Soit Π le polyèdre donné. Représentons-nous un second polyèdre Π', situé à l'intérieur du polyèdre Π et déterminé de telle façon que ces deux polyèdres soient concentriques, semblables et semblablement placés. Le polyèdre Π se réduit, par hypothèse, aux arêtes solides d'une carcasse en fil de fer. Imaginons que de chacune de ces arêtes parte une lame liquide aboutissant à l'arête homologue du polyèdre Π' et limitée latéralement par les droites qui joignent l'un à l'autre les sommets correspondants des deux polyèdres. Imaginons en outre que chacune des faces du polyèdre Π' soit occupée par une lame liquide. Il est clair que, en opérant ainsi, nous réalisons par la pensée le système pris pour point de départ des déformations successives indiquées au n° 17. Il est clair aussi que, dans ce système, les lames issues d'une même arête liquide sont partout au nombre de trois; les arêtes issues d'un

même sommet libre partout au nombre de quatre. Cela résulte nécessairement et évidemment de ce que les arêtes solides, issues d'un même sommet dans le polyèdre Π, sont partout au nombre de trois.

Concevons qu'on regarde par une des faces du polyèdre Π le système des lames liquides qui se rattachent aux différentes arêtes de cette face et entre elles. Ce système constitue une pyramide tronquée, ayant pour base la face vide par laquelle on regarde ; pour face opposée à la base, une lame liquide, semblable à la base et semblablement placée; pour faces latérales, une suite de lames liquides qui toutes ont la forme d'un trapèze, et dont chacune relie l'arête solide dont elle part à l'arête homologue de la lame libre opposée à la base.

Cela posé, voyons ce qui arrive après la suppression d'une face quelconque choisie comme on veut dans le polyèdre Π′. Pour fixer les idées, nous désignerons par a', b', c', d', e', f', etc., les sommets du polyèdre Π′, et par a, b, c, d, e, f, etc., les sommets homologues du polyèdre Π.

Fig. 21.



Soit $a'b'$ l'un des côtés de la face supprimée dans le polyèdre Π′. La face, qui se rattache à la face supprimée par le côté commun $a'b'$, peut être triangulaire, quadrangulaire ou pentagonale. Supposons-la pentagonale et représentons-la par $a'b'c'd'e'$, en observant qu'elle devient quadrangulaire ou triangulaire, selon que les trois points c', d', e' sont en ligne droite ou qu'ils se confondent en un point unique.

L'évanouissement de la face $a'b'c'd'e'$ peut et doit être considéré comme ayant lieu de la façon suivante :

Le point a' glisse sur $a'e'$ jusqu'à ce qu'il arrive en e'. Entraînée par le point a', l'arête aa' tourne autour du point a et vient s'arrêter en ae'. Il en résulte, par rapport aux arêtes issues du sommet libre e', qu'elles restent au nombre de quatre, l'arête $a'e'$ ayant disparu et se trouvant remplacée par l'arête ae'. On voit aussi que rien n'est changé dans les lames issues de l'arête ee', si ce n'est que, au lieu du trapèze $aee'a'$, il ne reste plus que la partie de ce trapèze représentée par le triangle aee'.

Le point b' glisse sur l'arête $b'c'$ jusqu'à ce qu'il arrive en c'. Entraînée par le point b', l'arête bb' tourne autour du point b et vient s'arrêter en bc'. Il en résulte, par rapport aux arêtes issues du sommet libre c', qu'elles restent au nombre de quatre, l'arête $c'b'$ ayant disparu et se trouvant remplacée par l'arête $c'b$. On voit aussi que rien n'est changé dans les lames issues de l'arête cc', si ce n'est que, au lieu du trapèze $bcc'b'$, il ne reste plus que la partie de ce trapèze représentée par le triangle bcc'.

S'agit-il ensuite de l'arête $a'b'$ et des deux lames $abb'a'$, $a'b'c'd'e'$? Lorsque les points a' et b' arrivent simultanément, l'un en e', l'autre en c', l'arête $a'b'$ s'applique sur le contour $e'd'c'$, et les lames $abb'a'$, $a'b'c'd'e'$ se confondent en une lame unique $abc'd'e'$ de même espèce * que la lame évanouie $a'b'c'd'e'$. Il en résulte, par rapport aux lames issues de chacune des arêtes $c'd'$, $d'e'$, qu'elles restent au nombre de trois, la lame $a'b'c'd'e'$ ayant disparu et se trouvant remplacée par la lame $abc'd'e'$.

Arrêtons-nous ici et voyons ce qu'est devenu le polyèdre laminaire correspondant à la face *abcde* du polyèdre Π.

La lame libre, opposée à la base abcde, *a disparu sans laisser aucun vide.*

La lame qui part de l'arête ab *a même nombre de côtés que la face* abcde. *Elle est limitée latéralement par les arêtes* ae', bc', *et au delà par le contour* c'd'e'.

Les lames qui partent des arêtes contiguës à l'arête ab *sont triangulaires.*

Les lames restantes n'ont pas changé; elles conservent la forme trapézoïdale qu'elles affectaient d'abord.

35. Soit F' la face supprimée la première dans le polyèdre Π', et F la face homologue du polyèdre Π. Ce qui vient d'être dit de la face *abcde*, par rapport au polyèdre laminaire dont elle est la base, s'applique en même temps et de la même manière à toutes les faces placées dans les mêmes conditions que la face *abcde*, c'est-à-dire contiguës comme elles à la face F. Il en résulte que l'état actuel du système liquide peut être déterminé, comme il suit, en considérant tour à tour chacune des faces du polyèdre Π, et la prenant pour base du polyèdre laminaire qui lui correspond.

* Lorsque nous disons de deux lames qu'elles sont de même espèce ou de même nature, nous entendons exprimer par là qu'elles ont même nombre de côtés.

S'agit-il, en premier lieu, *des faces non contiguës à la face* F? Les polyèdres laminaires qui correspondent à ces faces n'ont pas changé. Chacun d'eux a, pour face opposée à sa base, une lame libre, semblable à cette base et semblablement placée; pour faces latérales, une suite de lames qui toutes ont la forme d'un trapèze et dont chacune relie l'arête solide dont elle part à l'arête homologue de la lame libre opposée à la base.

S'agit-il ensuite *de la face* F? Le polyèdre laminaire qui lui correspond a, pour faces opposées à sa base, le groupe complet de toutes les lames libres mentionnées dans le paragraphe précédent; pour faces latérales, une suite de lames dont chacune est de même espèce que la face du polyèdre Π qu'une même arête solide rattache, en même temps qu'elle, à la face F.

S'agit-il, en dernier lieu, *des faces contiguës à la face* F? Les polyèdres laminaires ayant ces faces pour bases se sont tous modifiés. Chacun d'eux se réduit à une suite de lames qui se relient directement entre elles sans interposition d'aucune lame libre, et qui correspondent, une à une, aux différentes arêtes de la base. La lame qui part de l'arête solide commune à la base et à la face F est de même espèce que la face du polyèdre Π qui se rattache à la face F par cette même arête. Les deux lames qui sont contiguës à la précédente et qui la comprennent entre elles sont triangulaires. Les lames restantes n'ont pas changé. Elles étaient et sont restées trapézoïdales.

Tout est déterminé, comme on vient de le voir, dans l'état actuel du système liquide. Nous avons établi d'ailleurs que, en passant de l'état primitif à l'état actuel, le nombre des lames issues d'une même arête liquide et celui des arêtes liquides issues d'un même sommet libre n'ont pas cessé d'être respectivement égaux, le premier à trois, le second à quatre.

Supposons maintenant que, *sans rien changer, ni au nombre des sommets libres, ni à celui des lames et de leurs côtés respectifs*, l'on déplace ces sommets et l'on modifie les côtés de ces lames de manière à réaliser, en chaque cas, la déformation qui correspond à ce cas, d'après le procédé du n° 17, et conformément aux données des numéros suivants. Cela revient à prendre le polyèdre Π′ non semblable au polyèdre Π, et à n'introduire d'ailleurs aucune autre modification. Il est visible, dès lors, que les lois rappelées ci-dessus en ce qui concerne les limitations numériques des lames et des arêtes liquides

seront toujours satisfaites. On voit également que, si l'on peut, *dans ces mêmes conditions*, passer de l'état actuel à un état définitif d'équilibre stable, ce dernier état doit être caractérisé par *la permanence des dispositions générales* précédemment décrites.

36. Le résultat auquel nous venons de parvenir est assez important pour qu'il convienne d'y insister et de le recommander, d'une facon toute particulière, à l'attention du lecteur. On peut d'ailleurs s'en tenir au résumé suivant :

Le procédé du n° 17 ne permet pas seulement de reconnaître *a priori*, comme on l'a vu aux n^{os} 26 et suivants, une ou plusieurs des dispositions générales affectées par les lames libres dans l'état d'équilibre stable de chacun des systèmes liquides qui correspondent aux polyèdres types et à leurs dérivés. Il permet aussi de déterminer, *par rapport à chacune des faces du polyèdre sur lequel on expérimente*, le polyèdre laminaire dont cette même face peut être considérée comme la base.

Désignons par F, F_1, F_2 les différentes faces du polyèdre donné Π. Par hypothèse :

F est la face homologue à celle qu'on doit regarder comme ayant disparu la première dans le polyèdre Π';

F_1 est l'une quelconque des faces contiguës à la face F;

F_2 est l'une quelconque des faces non contiguës à la face F.

Cela posé, voici comment se déterminent, par rapport à ces faces, les polyèdres laminaires dont elles sont les bases respectives.

Soit d'abord la face F;

Elle se distingue des autres en ce que le polyèdre laminaire, qui lui correspond, a, pour faces opposées à sa base, le groupe entier de toutes les lames libres. Ce polyèdre laminaire a d'ailleurs, pour faces latérales, une suite de lames dont chacune est de même espèce que la face F_1 *du polyèdre* Π *qui se rattache à la face* F *par la même arête solide.*

Soit ensuite une face F_1;

Le polyèdre laminaire correspondant se réduit à une suite de lames qui se relient directement entre elles sans interposition d'aucune lame libre, et qui partent respectivement des différents côtés de la base F_1. *La lame issue de l'arête commune à la base* F_1 *et à la face* F *est de même espèce que la face* F_1.

Les deux lames qui sont contiguës à la précédente et qui les comprennent entre elles sont triangulaires. Les lames restantes sont quadrangulaires.

Soit, en dernier lieu, une face F_2;

Le polyèdre laminaire correspondant a, pour face opposée à sa base F_2, *une lame de même espèce que cette base et semblablement placée; pour faces latérales, une suite de lames qui sont toutes quadrangulaires, et dont chacune relie l'arête solide dont elle part à l'arête correspondante de la lame libre opposée à la base* F_2.

Il suit de là que, les polyèdres laminaires à considérer étant en nombre égal à celui des faces du polyèdre solide sur lequel on expérimente, ils diffèrent, en général, par des caractères assez tranchés pour que, en en voyant un, l'on puisse dire immédiatement si la face vide qui lui sert de base est la face F, ou l'une de celles que nous avons désignées par F_1 ou par F_2. On voit, en même temps, combien la description de ces différents polyèdres se trouve simplifiée, puisqu'on connaît d'avance, pour chacun d'eux, le nombre, l'espèce et la disposition des lames dont il se compose. Le reste ne constitue plus qu'un détail tout à fait secondaire.

37. Nous venons de préciser les caractères distinctifs que présente la face F dans les états d'équilibre stable qui dérivent exclusivement du mode de déformation décrit au n° 17 ainsi qu'aux n^{os} 26 et suivants. Il devient ainsi très-facile de reconnaître cette face à la simple inspection du système liquide obtenu. On peut dès lors, soit en immergeant de nouveau la face F, *soit en soufflant une bulle à l'intérieur du polyèdre laminaire dont elle est la base*, déterminer la formation d'une lame supplémentaire qui s'attache en même temps à toutes les faces latérales de ce polyèdre, et qui remonte vers le centre en tenant emprisonnée une certaine quantité d'air *. De là résulte

* Le procédé qui consiste à immerger une seconde fois l'une des faces de la carcasse solide a été employé, dans quelques cas, par MM. Van Rees et Plateau. Celui que j'indique à la suite est souvent préférable. Il convient, suivant les circonstances, de recourir, soit à l'un, soit à l'autre. On peut aussi, comme on le verra plus loin, tirer un grand parti de l'action du souffle pour opérer certaines transformations. Voici, sur ces deux points, ce qu'on trouve dans les travaux antérieurs de M. Plateau :

« Dans le système de la charpente cubique, la lame quadrangulaire centrale est parallèle à » deux faces opposées du cube; mais, à cause de la symétrie de la charpente, il est évidemment

ainsi qu'on le voit aisément, d'après ce qui précède, la formation spontanée d'un polyèdre liquide Π'', disposé à l'intérieur du polyèdre Π dans les mêmes conditions que le polyèdre Π' des numéros qui précèdent, et ne différant de celui-ci que par la courbure de ses faces et de ses arêtes. Abstraction faite de cette différence, on peut dire du polyède Π'', qu'il offre la réalisation complète du polyèdre Π', considéré en lui-même et dans ses attaches aux arêtes solides du polyèdre Π. Cette circonstance remarquable a ici une importance toute particulière; elle fournit le moyen de vérifier par voie expérimentale comment la suppression d'une face du polyèdre Π'' implique les

» indifférent pour l'équilibre, que ce parallélisme ait lieu par rapport à un couple de faces ou » par rapport à un autre; la lamelle peut donc occuper également trois positions, et l'on con- » çoit qu'il suffit d'une cause très-légère pour déterminer son choix. Aussi, quand on retire la » charpente du liquide glycérique, trouve-t-on la lamelle en question tantôt parallèle aux » faces antérieure et postérieure, tantôt parallèle aux faces de droite et de gauche, et il arrive » même quelquefois qu'elle se place horizontalement (1). De plus, on peut la faire passer, à » volonté, et plusieurs fois de suite, de l'une de ces trois positions à une autre; il suffit, pour » cela, de souffler très-légèrement sur l'une de ses arêtes par la face de la charpente du côté » de laquelle se trouve cette arête. On voit alors la lamelle se rétrécir dans le sens du souffle, » se réduire à une simple ligne, puis se reproduire dans sa nouvelle position. Ces derniers » phénomènes m'ont été indiqués par M. Van Rees, qui a bien voulu répéter mes expériences » en Hollande.

» On peut forcer un système liquide à sortir de celle de nos lois d'après laquelle il ne ren- » fermerait aucune portion d'air emprisonné de tous les côtés par des lames, et alors, dans » plusieurs charpentes, on obtient, en s'y prenant convenablement, des résultats nouveaux et » fort jolis. Le procédé, qui m'a également été indiqué par M. Van Rees, consiste à produire » d'abord le système ordinaire, puis à replonger, de quelques millimètres, la face inférieure » de la charpente, et enfin à retirer de nouveau celle-ci. On conçoit, en effet, qu'il se forme » ainsi dans cette face une lame plane qui emprisonne de l'air entre elle et les lames obliques » partant des côtés de cette même face, et qui, grimpant aussitôt entre ces lames obliques, » pousse la portion d'air devant elle, en donnant lieu à un système nouveau, lequel se symé- » trise quand la chose est possible. Par exemple, avec la charpente cubique, le nouveau système » contient, en son milieu, un cube laminaire rattaché par ses arêtes aux lames partant des » arêtes solides; seulement les arêtes, et conséquemment aussi les faces de ce cube laminaire, » sont légèrement convexes, ce qu'on s'explique aisément par la loi relative aux angles des arêtes » liquides entre elles. De même avec la charpente du tétraèdre, le nouveau système contient, » en son milieu, un tétraèdre laminaire à arêtes et à faces convexes. On obtient encore des » résultats analogues avec la charpente du prisme pentagonal et avec celle du prisme hexagonal,

(1) Il a échappé à M. Plateau que la lame dont il s'agit se dispose horizontalement ou verticalement, selon que la vitesse d'émersion est plus ou moins grande pour un même liquide, ou que le liquide est plus ou moins visqueux pour une même vitesse d'émersion.

transformations successives et les dispositions finales décrites aux numéros 26 et suivants. Elle se prête, en outre, à d'autres vérifications très-intéressantes.

Supposons que, après avoir formé le polyèdre Π'', on y insère par une de ses faces un tuyau très-petit préalablement mouillé *. De même que, en soufflant de l'air par ce tuyau, l'on augmente le polyèdre Π'', de même on le fait décroître en aspirant une partie de l'air qu'il tient emprisonné. On peut ainsi diminuer le polyèdre Π'', soit jusqu'à une certaine limite, à partir de laquelle il subit une transformation brusque, soit sans limite et jusqu'à ce qu'il se concentre en un point situé au centre du polyèdre Π **. On voit comment il est possible, en ce dernier cas, de réaliser avec toute la précision

» mais celle du prisme triangulaire donne une figure non-symétrique (1). Celle de l'octaèdre, » si l'on replonge une face bien parallèlement à la surface du liquide, et qu'on la retire de » même, fournit un résultat symétrique, mais dans lequel l'octaèdre laminaire central a quatre » faces triangulaires et les quatre autres hexagonales (2).

» Ces systèmes sont évidemment des systèmes mixtes, dans lesquels une partie des lames » est à courbure moyenne nulle, tandis que l'autre est à courbure moyenne finie et constante.

» Enfin, si après avoir réalisé un de ces systèmes mixtes, on crève une des lames qui com- » posent le polyèdre central, on voit l'ensemble repasser instantanément, ou en un temps » très-court, au système ordinaire..... C'est là encore une transformation curieuse. Pour » crever ces lames, le mieux est de se servir d'une pointe de papier à filtre. » (*Extraits de la sixième série*, pages 60 et 61.)

* Il convient de mouiller légèrement la partie du tuyau qu'on insère dans le polyèdre Π''. Si l'on ne prenait pas cette précaution, on s'exposerait à briser la face mise en contact avec le tuyau. C'est ainsi, par exemple, que dans le cas où l'on veut régulariser un système de lames en supprimant les cellules fermées qu'il peut offrir accidentellement, il suffit, pour rompre ces cellules, d'en toucher une paroi avec un corps qui ne se laisse pas mouiller immédiatement.

** Lorsque le tuyau a pénétré dans l'intérieur du polyèdre Π'' et que son orifice est dégagé de tout obstacle, l'air intérieur s'échappe de lui-même sous la pression qui le sollicite. On facilite le dégagement de l'orifice, en commençant par souffler de manière à augmenter le volume du polyèdre Π''.

(1) Le défaut de symétrie, signalé par M. Plateau pour le cas du prisme à base triangulaire, dépend de la hauteur du prisme sur lequel il a expérimenté. Pour une même base, il n'y a défaut de symétrie qu'à partir d'une certaine hauteur et pour des hauteurs plus grandes. Il en est de même en ce qui concerne le prisme à base pentagonale. La symétrie, observée par M. Plateau, ne subsiste qu'à partir d'une certaine hauteur et pour des hauteurs moindres. Nous indiquerons plus loin les conditions de ces différents phénomènes.

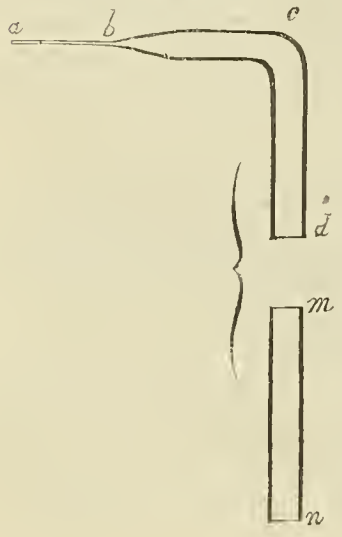
(2) Les choses ne se passent pas toujours comme le décrit M. Plateau. Il faut d'abord que la face replongée soit une des quatre faces pour lesquelles les polyèdres liquides correspondants ont leur sommet commun au centre de l'octaèdre. Il faut ensuite que l'air emprisonné ait un certain volume. Nous donnerons, à la fin de ce travail, des détails curieux sur les dispositions variées et les nombreuses transformations que comportent les systèmes liquides fournis par la carcasse octaédrique.

désirable l'état initial pris pour point de départ des calculs théoriques et de vérifier, en conséquence, certaines déductions de ces mêmes calculs.

L'aspect que présente le polyèdre Π'' à l'intérieur du polyèdre Π est assez curieux par lui-même pour qu'il y ait lieu de répéter, en chaque cas, l'expérience que nous venons d'indiquer. Elle réussit, comme les autres, avec l'eau simple de savon. Lorsqu'on veut la pousser plus loin, et, par exemple, réduire, s'il se peut, le polyèdre Π'' à n'être plus, pour ainsi dire, qu'un point mathématique situé au centre de la carcasse, mieux vaut recourir au liquide glycérique. Le temps plus long dont on dispose, avant la destruction spontanée des systèmes obtenus, facilite l'opération, et permet de la conduire plus sûrement à bonne fin.

Dans les cas particuliers du tétraèdre type, du cube et du dodécaèdre régulier, les faces du polyèdre Π'' sont toutes sphériques et de même rayon; c'est, d'ailleurs, par des lames planes que ses arêtes se rattachent aux arêtes homologues de la carcasse solide. Il s'ensuit que les arêtes liquides sont, les unes en arc de cercle, les autres rectilignes. Ces conditions très-simples et très-remarquables permettent de calculer le volume du polyèdre Π'', sans avoir d'autres mesures à prendre que celle de la corde qui sous-tend l'une de ses arêtes ou celle de l'arête liquide droite, comprise entre un quelconque de ses sommets et le sommet homologue du polyèdre Π. On peut, dès lors, en augmentant ou diminuant à volonté la quantité d'air emprisonnée, organiser une série d'expériences qui vérifient, à la fois, les changements de pression de l'air intérieur, la sphéricité des faces et l'invariabilité de leur tension.

Fig. 22.



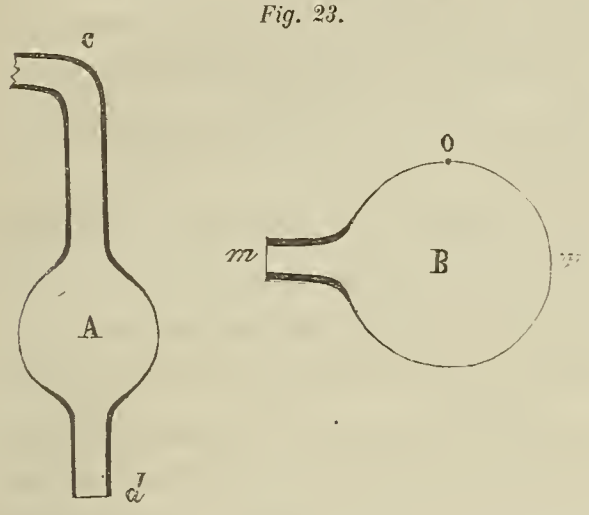
38. Disons un mot des appareils qui nous ont servi pour agir à l'intérieur du polyèdre Π'', soit en y introduisant de l'air, soit en en retirant.

Ces appareils sont au nombre de deux, l'un très-simple, l'autre un peu plus complexe.

Le premier se compose de deux tubes en verre, de sept millimètres environ de grosseur, l'un *mn* droit et de diamètre constant, l'autre *abcd*, coudé vers son milieu et effilé de *b* en *a* sur une longueur

de trois à quatre centimètres *. Le premier tube a environ douze centimètres de longueur, le second quinze à dix-huit. Ils sont réunis l'un à l'autre par un tuyau de caoutchouc qui leur sert de gaîne sur un à deux centimètres de longueur, et qui permet de les écarter l'un de l'autre jusqu'à la distance de trente à trente-cinq centimètres.

Fig. 23.



Le second appareil est disposé comme le précédent, sauf les modifications suivantes. Une boule sphérique creuse A, de six à sept centimètres de grosseur, est interposée entre le coude *c* et l'extrémité *d* du tube *abcd*. Au lieu d'être ouvert à son extrémité *n*, le tube *mn* se termine par une sphère creuse B de neuf à dix centimètres de grosseur. La sphère B présente en O, dans le plan diamétral perpendiculaire à l'axe du tube *mn*, une ouverture très-petite qu'on peut fermer à volonté en y plaçant le doigt.

La mise en œuvre du premier appareil n'exige aucune explication particulière; celle du second demande quelques détails.

Supposons d'abord qu'il s'agisse de diminuer le polyèdre Π''. On introduit dans ce polyèdre l'extrémité *a* du tube effilé *ba*, et l'on dispose les choses de telle façon que, la sphère A étant remplie de liquide, la sphère B soit vide. Il suffit alors de soutenir la sphère B à un niveau inférieur à celui de la sphère A pour que le liquide, en s'écoulant de celle-ci dans l'autre, détermine l'aspiration voulue. On peut d'ailleurs modérer cette aspiration jusqu'à la suspendre, soit en relevant le support de la sphère B, soit en fermant l'orifice O, soit en exerçant une pression plus ou moins forte sur le tuyau en caoutchouc.

S'agit-il au contraire d'augmenter le polyèdre Π''? On procède en sens inverse, le liquide contenu dans l'appareil étant ramené tout entier dans la

* La longueur de l'effilement doit être assez grande pour que l'extrémité *a* puisse arriver jusqu'au centre du polyèdre Π''.

sphère B, dont il n'occupe tout au plus que la moitié, et la sphère A étant vide. Cela fait, il ne reste plus qu'à placer la sphère B à un niveau supérieur à celui de la sphère A, pour que le liquide passe de la première dans la seconde, en chassant devant lui l'air qu'on veut refouler à l'intérieur du polyèdre Π''.

Les avantages que présente le dernier appareil sont faciles à saisir. On observera, d'ailleurs, qu'après y avoir introduit la quantité de liquide nécessaire pour remplir la sphère A, on peut s'en servir indéfiniment sans qu'on ait jamais à la renouveler.

39. Revenons au polyèdre Π''. Lorsque, après l'avoir formé, on le fait décroître jusqu'à le rendre très-petit, il se présente, en certains cas, une anomalie singulière. Voici, sous ce rapport, ce qui nous est arrivé :

Nous avions dissous à chaud, dans de l'eau de pluie, du savon de Marseille, forçant la proportion de savon jusqu'à ce que les systèmes obtenus pussent se maintenir pendant le temps dont nous avions besoin pour expérimenter. La solution, quoique très-concentrée, ne cessait pas de paraître fluide à la température de trente à vingt-cinq degrés centigrades, et c'est entre ces limites qu'elle se maintenait pendant que nous opérions, sans prendre, d'ailleurs, aucune précaution particulière. Le polyèdre Π'' étant formé dans ces conditions et grossi, au besoin, par insufflation d'air, nous observâmes, en le faisant décroître, qu'il ne pouvait parvenir à un certain degré de petitesse, sans que ses faces et ses arêtes, vues de l'extérieur, ne devinssent concaves au lieu de rester convexes comme elles l'étaient d'abord, et comme elles ne cessent pas de l'être, soit avec de l'eau de savon bien préparée, soit surtout et plus sûrement encore avec le liquide glycérique. Nous en conclûmes, pour ce qui concerne en particulier la carcasse tétraédrique, qu'en s'arrêtant au point convenable, il devait être possible d'obtenir un tétraèdre laminaire Π'' entièrement semblable au tétraèdre régulier Π, et ayant, en conséquence, toutes ses faces planes, toutes ses arêtes droites. C'est, en effet, ce que nous parvînmes à réaliser, dans plusieurs séries d'expériences, sur un tétraèdre solide de huit centimètres environ de côté, le tétraèdre laminaire obtenu étant régulier, quelquefois très-petit, d'autres fois assez grand pour que ses arêtes eussent jusqu'à trois centimètres de longueur et même davantage.

Au lieu d'aspirer l'air contenu dans le tétraèdre Π'' jusqu'à ce que les faces de ce tétraèdre soient planes, on pouvait suspendre l'aspiration, lorsque, tout en restant convexe, le tétraèdre Π'' devenait assez petit pour exercer la pression nécessaire à l'écoulement de l'air intérieur. Cet écoulement s'arrêtait de lui-même aussitôt que l'équilibre de pression s'établissait du dedans au dehors et que, en conséquence, le tétraèdre Π'' n'avait plus que des faces planes. Tout mouvement cessait alors; le système obtenu demeurait invariable pendant quelques instants, puis bientôt il se brisait.

En opérant avec le même liquide sur d'autres carcasses que celle du tétraèdre, nous avons obtenu des résultats du même genre. Les faces du polyèdre Π'' étaient d'abord convexes, elles devenaient concaves après réduction suffisante du volume de l'air intérieur. Ces faits anormaux s'expliquent ici très-simplement : la solution dont nous faisions usage était si concentrée que, en se refroidissant et descendant à la température du milieu ambiant *, elle passait à l'état gélatineux. Les mêmes conditions subsistaient pour les systèmes liquides obtenus. Les lames commençaient par être fluides, mais bientôt le refroidissement et l'évaporation les rendaient tout à fait visqueuses. Elles cessaient alors d'obéir librement aux actions qui les sollicitaient, et ne pouvaient plus se modifier comme elles l'eussent fait en restant fluides. Le liquide glycérique ne présente pas, sous ce rapport, les mêmes inconvénients qu'une eau de savon trop concentrée.

40. Nous venons de voir comment la viscosité d'un liquide imparfait peut produire des anomalies apparentes. Nous devons ajouter que, s'il convient, en général, de conserver au liquide dont on se sert toute la fluidité compatible avec une persistance suffisante des lames qu'il fournit, c'est, au contraire, en le rendant visqueux et même très-visqueux, qu'on parvient, en certains cas, au but qu'on se propose. S'agit-il, par exemple, de reconnaître comment se forment et se transforment les différents systèmes qui correspondent à un polyèdre donné? Avec le liquide ordinaire, les modifications qui surviennent dans le passage d'une forme à une autre sont souvent trop rapides pour ne pas échapper à l'examen le plus attentif. Il faut alors les ralentir et, à cet

* On observera que nous opérions en hiver.

effet, augmenter la viscosité du liquide. Le moyen le plus simple consiste dans le refroidissement. Ce moyen réussit, en général, très-vite et très-bien avec l'eau de savon concentrée. Il n'en est pas de même avec le liquide glycérique; le refroidissement doit être longtemps prolongé et, encore, ne parvient-on pas toujours à obtenir le degré voulu de viscosité.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE

ET DE LA PREMIÈRE SECTION DE LA SECONDE PARTIE.

RECHERCHES

SUR LES

OSSEMENTS PROVENANT DU CRAG D'ANVERS.

LES SQUALODONS.

PAR P.-J. VAN BENEDEN.

MEMBRE DE L'ACADÉMIE.

(Mémoire présenté à l'Academie royale de Belgique, le 2 avril 1864.)

RECHERCHES

SUR LES

OSSEMENTS PROVENANT DU CRAG D'ANVERS.

LES SQUALODONS.

I.

INTRODUCTION.

En 1832, on découvrit, sur les bords de la Wachita, dans la Louisiane, une vertèbre d'un animal gigantesque qui ne pese pas moins de quarante-quatre livres; elle appartient à un animal nouveau pour la science, et le docteur Harlan, croyant devoir ranger ce nouvel être des premières époques tertiaires dans la classe des reptiles, proposa le nom, malheureusement trop significatif, de *Basilosaure* [1].

Une autre vertèbre, qui ne mesure pas moins de dix-huit pouces de longueur, sur douze pouces de diamètre et du poids de soixante-cinq livres et demie, sans ses apophyses, fut trouvée ensuite dans l'Alabama, par

[1] *Transact. of the Americ. philos. Soc.*, vol. IV.

M. Couper, de Clairborne, et décrite par le docteur R. W. Gibbes, sous le même nom de *Basilosaure* [1] : c'est la même vertèbre qui a été signalée déjà par M. Buckley [2].

Parmi les vertèbres que nous possédons à Louvain et qui font partie de la dernière collection recueillie par le docteur Koch, il s'en trouve une du poids de vingt-sept kilogrammes.

A peine la découverte de ces débris de basilosaures fut-elle faite en Amérique, qu'on signala en Europe à l'attention des zoologistes un animal fossile non moins remarquable. A la vérité, il était loin de lui ressembler par la taille gigantesque, mais il avait, comme lui, un système dentaire particulier, construit sur le même plan et tellement semblable que des naturalistes crurent y voir le même animal, sous le rapport du genre et même de l'espèce. C'est dans un grès marin, à deux lieues de Bordeaux, qu'on fit cette découverte. On trouva une belle portion de rostre avec quelques dents en place, et le docteur Grateloup, qui le décrivit en 1840, proposa pour lui le nom, également trop significatif, de *Squalodon* [3]. Comme le basilosaure, le squalodon fut regardé d'abord pour un reptile voisin des *Iguanodon* et voisin en même temps des squales, ainsi que l'indique le nom qu'il conserve encore aujourd'hui.

Nous ne voyons aucun motif plausible pour changer le premier nom qui lui a été imposé par Grateloup.

En 1839, Harlan soumit à l'examen de R. Owen quelques débris et des dents du fameux reptile, et le célèbre zoologiste du *British Museum* reconnut aisément, dans la structure des dents surtout, la nature du mammifère; il n'hésita même pas à rapprocher le basilosaure des lamentins et proposa, d'accord avec le docteur Harlan, le nom de *Zeuglodon*, qui lui est resté [4].

Cette pensée avait, du reste, déjà été exprimée par Duméril, à l'occasion du mémoire de Blainville sur le prétendu didelphe de Stonesfield. « Il

[1] *On the fossil Genus* Basilosaurus. (Journal of the Acad. of nat. sc. of Philadelphia, 1847-1850, pag. 8.)

[2] *American Journal of science*, for july 1846.

[3] De Grateloup, *Description d'un fragment de mâchoire fossile.* 1840.

[4] *Annales des sciences naturelles*, 2me série, vol. XII, pag. 211. — *Transact. of the Geol. Soc. of London*, vol. VI.

» faut avouer, dit Duméril, que les vertèbres que l'on croit provenir de ce » fossile (*Basilosaurus*) semblent plutôt être d'un cétacé que d'un reptile [1]. »

En 1840, la même année que le docteur Grateloup publia sa notice, étant de passage à Bordeaux, je reconnus, à la première inspection du rostre, que le prétendu reptile de Léognan était un véritable cétacé souffleur, et j'écrivis dans ce sens une lettre, datée de Bordeaux, à Blainville [2], qui m'avait prié, à mon départ de Paris, de lui faire part des observations que j'aurais l'occasion de faire sur les cétacés. Blainville coordonnait dans ce moment les matériaux qu'il avait rassemblés sur les cétacés, pour sa grande *Ostéographie*, et inséra ma lettre dans ce beau travail qu'il n'a malheureusement pu achever.

Herman von Meyer avait, de son côté, fait la même observation en recevant du docteur Grateloup la notice qui était accompagnée d'une planche gravée. Le savant paléontologiste de Francfort reconnut, au mois de juillet de cette même année, que le squalodon est un cétacé voisin des souffleurs [3].

On a découvert depuis de nombreux ossements de basilosaure aux États-Unis, comme on a trouvé des débris de squalodon dans diverses contrées de l'Europe. Ainsi, l'année qui suivit celle pendant laquelle se fit la découverte de la première vertèbre, on trouva dans l'Alabama, à trente milles nord-ouest de Clairborne, des fragments de maxillaire, des vertèbres, des côtes et des os de membres d'un animal que l'on reconnut ne pas être sans analogie avec le basilosaure.

Une grande partie du squelette et des dents molaires fut ensuite trouvée, dans diverses localités, aux États-Unis, et, en 1843, Buckley écrivit une notice intéressante, dans *Sillimann's American Journal* [4], notice qui fut reproduite dans *Leonhard Bronn's Jahrbuch für Mineralogie* [5].

Au printemps de 1845, le docteur Albert Koch découvrit de nombreux

[1] *Comptes rendus*. . . . . 1838, pag. 756.

[2] *Ostéographie*. . . . . Paris, livraison VII, pag. 44.

[3] La lettre de Herman von Meyer, dans laquelle il parle du squalodon de Grateloup, et regarde ce curieux animal comme un cétacé carnassier ou delphinien, est datée de Francfort-sur-le-Main, 23 juillet. (*Jahrbuch*, 1840, pag. 587.)

[4] Vol. XLIV, pag. 409.

[5] 1844, pag. 657.

restes de ce même animal, dans la partie sud de l'Alabama, non loin de la rivière Sintabouge.

Ce sont ces ossements que le docteur Albert Koch apporta en Europe pour en faire un squelette gigantesque qui fut exhibé à Dresde, à Berlin, à Leipzig et à Vienne, sous le nom de *Hydrarchus*.

Cet *Hydrarchus Harlani*, comme le docteur Albert Koch l'appelait, avait une longueur colossale, et son cou, démesurément long, était conformé d'une manière aussi extraordinaire que le crâne et les extrémités.

Avec des ossements réunis de divers individus et de plusieurs localités, le docteur Albert Koch avait construit un animal unique, et de ce mélange était résulté un être gigantesque plus singulier, comme on le pense bien, que tout ce qui avait été signalé jusqu'alors. L'*Hydrarchus* du docteur Albert Koch était une espèce de serpent de mer fossile de plus de cent pieds de longueur, portant deux paires de courtes pattes ressemblant plus à des membres de phoque qu'à des nageoires de cétacé [1].

Aussi Carus le considère-t-il, contrairement à l'avis de R. Owen et des autres naturalistes, comme un reptile plus singulier que le Ptérodactyle et qui doit former, d'après lui, sinon une classe à part, au moins un ordre distinct dans la classe des reptiles.

La figure qui accompagne le mémoire du docteur Albert Koch a été communiquée, le 23 novembre 1850, à une réunion de naturalistes à Vienne. Elle reproduit l'animal sous le nom de *Zeuglodon macrospondylus*, avec la forme mi-phoque, mi-sirène [2], tel qu'il a été exhibé en dernier lieu à Dresde, à Breslau et à Vienne.

Au mois d'avril 1847, J. Müller fit sa première communication, à l'Académie de Berlin, sur le fameux *Hydrarchus* du docteur Albert Koch, et, la même année, Burmeister exprima de nouveau l'opinion que cet animal doit être rapporté aux cétacés.

Au mois de juin, dans une seconde communication, J. Müller reconnut que, non-seulement la colonne vertébrale de l'*Hydrarchus* qui avait été

[1] *Uber das unter den Namen* Hydrarchus *von Dr A. Koch zuerst nach Europa gebrachte.... grosse fossile Skelett...*; in-fol. Leipzig, 1847.

[2] Albert Koch, *Das Skelet der Zeuglodon macrospondylus.*

exposée aux yeux du public dans plusieurs capitales, était formée de vertèbres appartenant à plusieurs individus, mais que les restes de plus d'une espèce avaient concouru à la construction de ce squelette. Il fit en même temps la remarque qu'on avait formé un cou à l'animal avec des vertèbres des régions dorsales et lombaires, et que l'on ne connaissait pas les vertèbres véritables de la région cervicale. J. Müller trouva deux vertèbres du cou parmi les restes de la collection de Koch, entre autres l'atlas, et reconnut que le cou était semblable à celui des cétacés proprement dits.

Et pendant que ces basilosaures se découvraient en Amérique, de nouveaux gîtes de squalodon furent signalés en Europe. Dans la vallée du Danube, aux environs de Lintz, dans la haute Autriche, M. K. Ehrlich en découvrit plusieurs restes importants dans la mollasse; mais, comme en Amérique et à Bordeaux, la nature véritable de ces débris ne fut pas reconnue d'abord.

M. K. Ehrlich a généreusement déposé ces ossements précieux au *Vaterlandischen Museum* de Lintz, sa ville natale.

Le premier qui fait mention de ces ossements de Lintz, est M. von Klipstein [1]. Après avoir fait la description des débris, il les rapporte tous à un saurien d'une forme toute particulière. M. K. Ehrlich a décrit plus tard ces objets avec beaucoup de soin, et il a accompagné son travail de quelques dessins qui représentent les pièces les plus importantes [2].

Vers le milieu du siècle dernier, Scilla avait figuré des dents fossiles singulières, attribuées à des phoques et provenant de l'île de Malte. Elles sont conservées aujourd'hui au musée de *Trinity-College*, à Cambridge. Agassiz a créé pour elles le genre de *Phocodon*. Ces dents de Scilla ont été reconnues presque en même temps par H. von Meyer et par Paul Gervais, pour des dents d'un animal qui n'est pas sans avoir de l'affinité avec le squalodon [3].

A ces premières localités en Europe est venu se joindre ensuite un autre gîte, beaucoup plus au nord, et auquel on était loin de s'attendre : je veux parler de la découverte faite en Gueldre (Pays-Bas).

M. Staring, dans sa description du sol des Pays-Bas, rappelle que, déjà

[1] *Jahrbuch für Mineralogie*, 1845, page 704.
[2] *Ueber die Nordöstlichen Alpen*. Lintz, 1850.
[3] *Jahrbuch*, 1841, pages 102, 567 et 830.

en 1837, on avait trouvé, dans les environs d'Eibergen, des dents et des vertèbres du même animal que Herman von Meyer avait désignées sous le nom de *Squalodon Grateloupi*. M. Staring a figuré (planche III), une dent molaire et une dent caniniforme qui ne laissent point de doute à cet égard, du moins quant au genre. Il n'en est pas de même des vertèbres, que M. Staring a cru devoir rapporter au même animal. Ces vertèbres appartiennent plutôt à deux espèces différentes de dauphins, dont l'une est fort petite et sera bientôt décrite sous le nom de *Delphinus Jardinii*, tandis que l'autre est un *Ziphioïde* qui n'est pas spécifiquement déterminé. Nous avons été voir ces objets au Pavillon, à Haarlem, où ils sont déposés aujourd'hui [1].

Longtemps avant la publication de M. Staring, j'avais été informé, par le professeur Van Breda, qu'on avait trouvé, dans la province de Gueldre, des dents que M. R. Owen n'avait pas hésité à rapporter au genre *Zeuglodon*. Il paraît que ces dents avaient été soumises à l'examen du célèbre zoologiste du *British Museum*.

Enfin, mon ami Paul Gervais a signalé l'existence de ce même animal à Saint-Jean de Vedas, près de Montpellier [2].

C'est à cela que se réduisait l'état de nos connaissances sur ces singuliers mammifères, lorsqu'on commença les travaux de fortification autour de la ville d'Anvers. Dans le courant de 1860, on trouva au fort n° 4, à *Vieux-Dieu*, des ossements fort intéressants de cet animal, et, ce qui ajoute surtout à l'intérêt de cette découverte, c'est qu'on mit précisément la main sur les parties de la tête qui étaient le moins bien connues. Nous fûmes mis à même de faire connaître, grâce à l'obligeance de notre savant confrère M. le vicomte du Bus, tout le bout du rostre avec les diverses sortes de dents [3].

Nous ne devons pas moins de reconnaissance à M. le capitaine Le Hon, pour l'empressement qu'il a mis à nous communiquer les pièces les plus importantes de sa collection, parmi lesquelles se trouvent quelques débris intéressants de ces animaux.

[1] Staring, *Bodem van Nederland*, vol. II, pag. 216, pl. III.

[2] *Annales des sciences naturelles. Zoologie et paléontologie françaises.*

[3] *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, tome XII, n° 7.

Par un heureux hasard, les sables d'Anvers ont conservé les parties de la tête qui n'étaient point encore connues.

Pour rendre ce travail aussi complet que possible, nous avons étudié de nouveau les squalodons de Léognan, et, peu de temps avant sa mort, le docteur Grateloup nous a communiqué, avec une obligeance extrême, une vertèbre-atlas dont J. Müller avait déjà fait mention dans son grand travail.

Nous avons été voir ensuite les squalodons trouvés à Lintz, dans la haute Autriche, et M. K. Erhlich a bien voulu nous conduire sur les lieux mêmes où ces ossements ont été découverts.

Nous avons ensuite profité d'une occasion qui s'est offerte en 1860 et qui nous a été fort utile. La direction du musée de Darmstadt a bien voulu nous céder la collection d'ossements fossiles que le docteur Albert Koch avait formée pendant son quatrième et dernier voyage aux États-Unis. On comprend que ces objets nous ont été d'un grand secours pour la comparaison.

Indépendamment de ces derniers ossements de zeuglodon, nous avons pu étudier avec soin la grande collection de Berlin et la curieuse et intéressante tête de zeuglodon que le musée Teylérien de Harlem a achetée au docteur Krantz, de Bonn.

En 1861, j'ai fait part à l'Académie du résultat d'une visite que j'avais faite à Lintz, pour voir les débris de squalodon découverts dans les environs de cette ville de la haute Autriche [1].

Nous avons voulu voir aussi, comme nous l'avons déjà dit, les débris de ces animaux qui ont été recueillis en Gueldre et qui, sous la direction de M. Staring, sont déposés au Pavillon à Harlem.

Pendant que je réunissais les matériaux pour la rédaction du travail que j'ai l'honneur de communiquer aujourd'hui, il s'est fait, dans le midi de la France, une dernière découverte de la plus haute importance.

Au mois de novembre 1861 [2], M. Jourdan, directeur du musée de Lyon, fit part à l'Académie des sciences de la découverte d'une tête presque complète de squalodon, dont les premiers fragments furent trouvés en 1854,

[1] *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, tome XII, nos 9 et 10.

[2] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LIII, pag. 959.

dans un calcaire marin de la couche inférieure du miocène supérieur des carrières de Barie près Saint-Paul-Trois-Châteaux (département de la Drôme), mais dont malheureusement, dit l'auteur, la partie correspondant au museau avait été brisée et les débris presque pulvérisés [1].

Le savant directeur du musée de Lyon affirme que le premier qui a reconnu un cétacé dans le squalodon, est Laureillard. Cela n'est pas exact : le nom nouveau que le modeste collaborateur de Cuvier a proposé pour remplacer celui de *Squalodon* figure, pour la première fois, dans le Dictionnaire de D'Orbigny, et déjà, en 1840, H. von Meyer et moi nous avons fait connaître, comme nous l'avons dit plus haut, notre appréciation.

Au mois d'avril dernier, M. Gervais me fit savoir que le bout du rostre du *Squalodon de Barie* n'était point, comme le supposait M. Jourdan, réduit en poussière, que ce fragment intéressant était, au contraire, entre ses mains, et il eut l'obligeance de me le communiquer. La lettre de M. Gervais a été insérée dans les *Bulletins de l'Académie royale de Belgique* [2], accompagnée d'une planche exécutée par notre habile dessinateur de l'Académie, M. Severeyns, et qui représente le bout du rostre avec ses dents en place.

Cette découverte présente pour nous un très-haut intérêt. Ce morceau de rostre nous montre des fragments de maxillaire supérieur et inférieur, et presque toutes les dents sont encore en place. Nous avions déjà dit un mot du bout du rostre de squalodon trouvé à Anvers; mais la couronne des dents antérieures étant brisée, nous attendions avec impatience la confirmation de l'opinion que nous avions émise sur ces défenses, qui en font le système dentaire le plus extraordinaire des carnassiers anciens et actuels [3].

Comme on vient de le voir, nous avons été assez heureux pour réunir les principaux matériaux qui ont été trouvés à Anvers et pour les comparer avec

[1] Nous devons à l'obligeance de notre ami Paul Gervais le dessin, de grandeur naturelle, de cette belle tête de squalodon qui est déposée au musée de Lyon.

[2] Tome XII, n° 5.

[3] Depuis que ce mémoire a été communiqué à l'Académie, nous avons appris, par M. Ray Lankaster, que le squalodon se trouve également dans le crag en Angleterre, et M. Bosquet nous a montré, dans son cabinet à Maestricht, une petite dent à une racine, trouvée à Elsloo dans le bolderien de Dumont, et qui semble également provenir du squalodon. (Louvain, 2 janvier 1865.)

les squalodons trouvés dans le midi de la France, dans la haute Autriche et dans les Pays-Bas.

Comme les squalodons appartiennent au même type que les zeuglodons, nous donnerons ici la liste des travaux qui ont été publiés sur les uns et sur les autres.

Nous donnerons ensuite la description des os de squalodon trouvés à Anvers, et comme nous avons eu l'occasion de voir ceux des autres localités, nous en ferons également une courte description. C'est ainsi que nous parlerons des Squalodons de Bordeaux, de Lintz, de la Gueldre et du Barie.

Dans un dernier chapitre, nous apprécierons les affinités qui lient les squalodons aux zeuglodons et aux autres mammifères, et nous ferons connaître notre avis sur la place qu'ils occupent dans la hiérarchie zoologique. Nous finirons par l'exposé des espèces que nous croyons devoir admettre pour le moment.

LITTÉRATURE.

1670. Ag. Scilla, *La Vana speculazione disingannata del senso.* Napoli, 1670; tab. XII, fig. 1.

1832. Harlan, *Transactions of the American philosoph. Society,* vol. IV. — Basilosaurus.

1833. *Bulletin de la Société géologique de France*, vol. IV.

1834. James, *Edimbourgh new philosoph. Journal.*

1835. *Transactions of the geological Society of Pensylvania*, tome I.

1838. H. von Meyer (Pachyodon), *Jarhb. f. Min.*

1838. Dumeril, *Remarques à l'occasion du mémoire de Blainville, sur le prétendu Didelphe de Stonesfield.* (Comptes rendus de l'Académie des sciences, II, page 736. 1838.)

1839. *London Edimb. philosoph. Magazine.*

1839. *Annales des sciences naturelles*, 2e série, vol. XII.

1839. Owen, *Transactions of the geological Society of London*, vol. VI, page 96. 1839.

1840. Grateloup, *Description d'un fragment de mâchoire fossile d'un genre nouveau de reptile (Saurien) de taille gigantesque, voisin de l'Iguanodon, trouvé dans le grès marin, à Léognan près Bordeaux (Gironde).* (Actes de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Bordeaux, 2me année; 1840.)

1840. Van Beneden, *Lettre datée de Bordeaux* (1840), dans *l'Ostéographie* de Blainville. Paris; livre VII, page 44.

1840. Herman von Meyer, *Jahrbuch f. Min.*, 1840, page 587.
— — — 1841, pages 102, 567 et 850.
— — — 1845, page 704.

1841. Agassiz, *Poissons fossiles, feuilleton additionnel et Répertoire d'anatomie et de physiologie* de Valentin, page 256.

1842. Klipstein, *Karsten's und v. Dechen's Archiv.*, 1842, XVI, II.

1845. Buckley, *Silliman's* (*Zeuglodon cetoïdes.*) American Journal of science and arts vol. XLIV; avril 1845.

1845. Klipstein, *Jahrbuch für Mineralogie*, 1845, page 704.

1844. Laurillard, *Art.* Dauphin, vol. IV, *Dictionnaire universel d'histoire naturelle* de D'Orbigny.

1845. H. D. Roger's *Proceeding of the Boston Soc. of nat. history.*

1845. Pedroni, *Actes de la Société linnéenne de Bordeaux*, tome XIV, 1845.

1845. Gibbes, *Proceedings of the Academy for juny 1845.* — Dorudon.

1845-1846. Emmons, *Quarterly Journal of agriculture and science*, juin 1845 et avril 1846.

1846. Buckley, *Silliman's American Journal of science and arts;* july 1846.

1846. Koch, *Kurze Beschreibung der* Hydrarchus Harlàni; Dresden, 1846.

1846. Gervais, *Annales des Sciences naturelles*, 1846, page 264.

1846. Van Beneden, *Note sur deux cétacés fossiles provenant du bassin d'Anvers.* (Bulletins de l'Acad. roy. de Belg., tom. XIII, page 261.)

1847. Carus, Geinitz, *Gunther and Reichenbach, Result. geol. anat. and zool. Untersuchungen ueber* Hydrarchos. Dresden et Leipzig; in-fol.

1847. Herman von Meyer, *Jahrb. f. Min. S.* 669. *Die erloschene Cetaceen Familie der Zeuglodonten mit Zeuglodon und Squalodon.*

1847. Tuomay, *Notice of the Discovery of a cranium of the Zeuglodon.* (Journal of the Acad. of nat. sc. of Philadelphie, vol. I, pag. 1.)

1847-1850. Robert W. Gibbes, *On the fossil Genus* Basilosaurus Harlani... (Journal of the Academy of nat. sc. of Philadelphie. Philadelphie, vol. I, page 5.)

1848. A. Wagner, *Erichson's Archiv.*, page 167.

1848-1852. P. Gervais, *Paléontologie française.* Paris, 1re et 2me édition.

1850. Albert Koch, *Das Skelet des* Zeuglodon macrospondylus. 25 novembre 1850, in-4°.

1850. Carl Ehrlich, *Squalodon Grateloupii.* — Herman von Meyer, *Ueber die nordöstlichen Alpen*, page 12, Lintz, 1850. (Avec 3 figures sur bois.)

Carl Ehrlich, *Berichten der Freunde der Naturwissenshaften in Wien*, Band IV, seite 197.

1855. Carl Ehrlich, *Beiträge zur Palcontologie. . . . .*, Lintz, 1855, page 9.

Staring, *Versteeningen uit den tertiairen leem.* (Bodem van Nederland, vol. II, page 216, pl. III.)

Van Beneden, *Un Nouveau Mammifère du crag d'Anvers.* (Bull. Acad. roy. de Belg., 2me série, tom. XII, n° 7.)

1861. Jourdan, *Description des restes fossiles de deux grands mammifères, constituant deux genres, l'un le genre* Rhizoprion. . . . . (Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris, tome LII, page 959, 25 novembre 1861). *Ann. des sc. natur.*, tome XVI, page 369.

Paul Gervais, *Lettre adressée à M. Van Beneden sur les Squalodons.* (Bull. Acad. roy. de Belg., 2me série, tome XIII, n° 5.)

II.

DESCRIPTION

DES DÉBRIS DE SQUALODON TROUVÉS A ANVERS.

Le fragment de rostre décrit par de Grateloup n'est formé que d'une partie de l'os maxillaire supérieur. Le crâne, comme le bout du maxillaire, manque complétement. Les débris trouvés à Lintz sont plus nombreux et plus complets. Non-seulement toute la base du rostre est parfaitement conservée dans la pièce principale, mais on y trouve aussi une grande partie de la boîte crânienne avec les orifices des évents, l'arcade zygomatique, la voûte et la fosse temporale. Le crâne plus complet d'un jeune animal a été trouvé en même temps à côté du précédent. La tête découverte à Barie et décrite par Jourdan est presque entière. Les diverses pièces sont restées en place. Mais ici encore, le bout du rostre est brisé à peu près au même endroit, de manière que la disposition des dents antérieures est restée problématique. Heureusement ce fragment, que l'on croyait réduit en poussière et perdu, a été retrouvé avec les dents, qui sont conservées dans leur situation respective.

Par bonheur nous avons trouvé, à Anvers, les parties qui manquent et qui sont le moins bien connues; ce qui nous permet de reconstituer la tête entière dans une intégrité presque aussi complète que si elle venait d'être séparée de l'animal.

L'animal que nous nous proposons de faire connaître dans ce travail appartient à un type complétement perdu à l'époque actuelle. Mieux qu'aucun autre mammifère, le *Squalodon* nous fait voir, que si les continents ont vu disparaître leurs *Palæotherium* et leurs *Pterodons*, la mer, de son côté, tout

en étant un milieu bien moins variable que l'atmosphère, a également perdu des formes qui n'ont laissé aucune trace parmi les animaux actuels. Nous ne trouvons plus dans nos mers des êtres qui ressemblent, même de très-loin, soit aux *Squalodons*, soit aux *Zeuglodons*.

Il est assez remarquable que les mammifères aquatiques, les vivants comme les fossiles, sont beaucoup moins bien connus que les mammifères terrestres. C'est à peine, on peut le dire, si Cuvier a effleuré ce sujet, et depuis les belles publications du grand naturaliste du Muséum, l'étude de ces animaux a fait bien peu de progrès. Il suffit de jeter les yeux sur les travaux les plus justement estimés pour être frappé de l'incertitude qui règne dans la science au sujet des espèces et des genres, même dans les familles qui semblent avoir été le mieux étudiées. Ainsi, le genre *Ziphius*, établi par Cuvier sur des ossements d'origine diverse, était généralement regardé par les naturalistes comme un genre éteint, lorsque M. Gervais révéla, il y a deux ans, que ces singuliers animaux vivent encore actuellement dans la Méditerranée. Un individu, long de six à sept mètres, est venu échouer sur la plage des Aresquiers, dans le département de l'Hérault, entre Villeneuve-lez-Maguelone et Frontignan.

Nous-même nous avons publié dernièrement une notice ayant pour objet un *Ziphius* nouveau vivant dans la mer des Indes.

Nous pourrions citer encore, à l'appui de cette opinion, la manière dont Carus et d'autres naturalistes se sont fourvoyés, en reconstruisant la tête et le squelette de leur fameux *Hydrarchos* [1], qui de reptile gigantesque est devenu un mammifère assez voisin de l'ordre des cétacés.

LES OS DE LA TÊTE.

De tous les os de la tête, ceux qui nous paraissent les plus importants et dont la connaissance a le plus de valeur scientifique sont sans contredit les maxillaires supérieurs et les intermaxillaires. Ce sont, en effet,

[1] *Hydrarchos*. Dresden and Leipzig; in-fol., 1847, pl. IV, fig. XI.

eux qui donnent la physionomie propre à l'animal et qui contribuent le plus à faire apprécier sainement les affinités naturelles.

Nous sommes heureusement en possession de divers fragments qui nous permettent de reproduire les caractères les plus importants de ces deux os de la face.

Os intermaxillaire. — L'os intermaxillaire constitue à lui seul presque toute l'extrémité du rostre; il prend, comme on sait, d'autant plus de part à sa formation que celui-ci est plus allongé, et le rostre est fort long dans les squalodons. Sur une longueur d'environ dix centimètres, il forme, à lui seul, tout le bout du museau. La surface externe en est légèrement bombée; en dessous il est aplati pour former le palais; une légère dépression règne sur la ligne médiane; en dessus il s'échancre en une sorte de gouttière, qui est d'autant moins profonde qu'elle se rapproche de l'extrémité libre. C'est dans cette gouttière que loge l'énorme cordon cartilagineux qui s'étend, chez les cétacés, du corps de l'ethmoïde au bout du rostre et qui reste généralement pendant toute la vie de l'animal à l'état de cartilage.

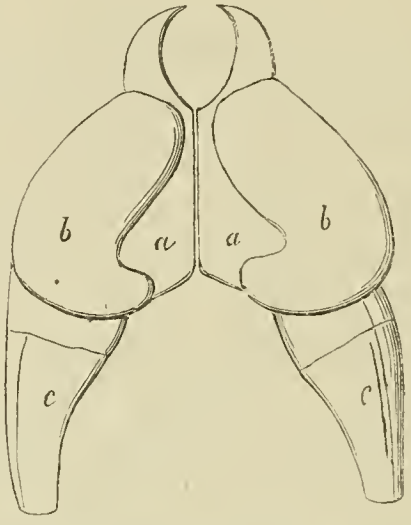
Cet os présente sur le côté deux alvéoles très-profondes qui logent deux fortes incisives semblables à des canines; puis en avant, dans l'axe même du rostre, deux autres incisives plus fortes qui ressemblent par leur aspect et surtout par leur direction à deux défenses.

Ces alvéoles sont très-profondes et se croissent, en partie, avec les autres alvéoles, comme on peut le voir dans la figure que nous donnons des dents. Ce sont les dents antérieures qui ont les racines les plus longues.

Ce qui est important à considérer dans la conformation de cet os, c'est la largeur extraordinaire de la surface par laquelle il s'articule, sur toute la ligne médiane, avec l'os du même nom. Au lieu de voir deux bords grêles se toucher à peine sur leur longueur, comme c'est le cas dans la généralité des cétacés, chaque os incisif s'unit à son semblable par une surface qui a jusqu'à trente millimètres de hauteur, et cela sur la plus grande partie de sa longueur. C'est une suture qui donne une très-grande solidité à la face et que les énormes racines des dents incisives renforcent encore. Il résulte de cette disposition que le bout du rostre acquiert une solidité extraordinaire

et dont on ne trouve aucun autre exemple dans les animaux vivants.

Les intermaxillaires sont donc unis entre eux par *suture harmonique* dans presque toute leur longueur, comme on peut le voir par la figure que nous donnons de la coupe du rostre, prise immédiatement derrière les dents canines.



Coupe du rostre derrière les dents canines. *aa*. Os intermaxillaire. *bb*. Os maxillaire. *cc*. Dents.

Mon savant ami Paul Gervais a figuré une coupe du rostre (pl. XLI, fig. 6^{b}) de *Squalodon Grateloupii ;* mais ce n'est pas ainsi que nous avons vu les os disposés dans le Squalodon d'Anvers. Ces os, après avoir formé toute la gouttière qui loge le cartilage du rostre, descendent entre les maxillaires jusqu'au palais, en se soudant par suture harmonique dans toute la hauteur du rostre.

Il serait difficile de se former une idée claire de cette disposition d'après les autres mammifères. Il est indispensable d'étudier quelques têtes de cétacé. Le vomer est formé, dans ces animaux, de deux lames écartées l'une de l'autre et entre lesquelles est couché un long cordon cartilagineux qui part du corps de l'ethmoïde, s'étend dans toute la longueur de la face et se termine en avant au bout du rostre.

Ce cartilage représente, pensons-nous, la partie centrale du vomer, et celui-ci s'unit intimement avec les lames latérales de l'ethmoïde.

Dans une première publication [1], nous avions exprimé l'opinion que toutes les dents de squalodon sont implantées dans l'os maxillaire lui-même, comme on l'observe généralement dans les cétacés. Nous avons eu depuis l'occasion de voir une nouvelle portion de rostre du plus haut intérêt, dans laquelle les os maxillaires sont parfaitement distincts des autres et où chaque os montre, dans toute son évidence, les dents qu'il porte et ses rapports avec les autres os. Cette pièce nous a permis de rectifier l'opinion que nous avions exprimée d'abord.

Les delphinides ont généralement leurs dents incisives, quand ils en ont, logées dans l'épaisseur de la peau, et les os ne portent aucune trace d'alvéoles. Nous avons vu toutefois une exception à cette règle, et probablement on en trouvera plus d'un exemple, lorsqu'on examinera cette disposition de près. Dans une tête de *Delphinus tursio* de la Méditerranée, que nous avons rapportée nous-même de Cette, l'os incisif porte en effet six dents incisives véritables; il est vrai, ces dents sont moins développées que les autres, mais elles n'en existent pas moins sur le même rang et dans les alvéoles parfaitement distinctes. Dans le squalodon d'Anvers, l'os incisif porte véritablement trois paires de dents très-fortes, implantées par de longues racines recourbées qui renforcent considérablement le bout du rostre.

Jusqu'à présent, c'est le seul exemple que nous connaissions, parmi les cétacés, de dents véritables, implantées, à l'âge adulte, dans l'os incisif proprement dit, c'est-à-dire logées dans des alvéoles distinctes.

En arrière, ces intermaxillaires restent visibles du côté du palais, jusqu'à la hauteur de la troisième ou de la quatrième vraie molaire, où ils occupent une largeur d'environ cinq millimètres.

En haut et en avant, ces mêmes os forment, dans la longueur du rostre, comme dans tous les vrais cétacés, la gouttière qui loge le ligament ou plutôt le cartilage vomérien dont nous avons déjà parlé.

A la distance de dix centimètres du bout du museau, l'intermaxillaire se rétrécit et se cache, sur le côté sous-entendu, derrière ou en dedans des deux maxillaires, comme dans le genre *Hyperoodon*.

[1] *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 2me série, tome XII, n° 7.

En dessus et en arrière, cet os reste parfaitement visible, et il forme, à lui seul, jusqu'à la hauteur des évents, la paroi latérale et supérieure du canal vomérien.

Nous ne savons pas, d'après les pièces trouvées à Anvers, comment ces os se terminent en arrière et se comportent autour des fosses nasales; mais heureusement le crâne presque complet trouvé à Lintz et la tête intéressante décrite par le directeur du musée de Lyon nous permettent de comprendre les rapports véritables des os qui constituent cette région importante de la tête des squalodons.

En résumé, les intermaxillaires forment à eux seuls, en avant, toute la surface du palais, tandis que les maxillaires ne se montrent, entre ceux-ci, qu'à la hauteur des premières molaires; et, à la hauteur des dernières molaires, les deux os maxillaires se joignent sur la ligne médiane, pendant que les intermaxillaires se retirent en haut vers les orifices des narines.

En avant, la surface du palais est très-légèrement creuse sur la ligne médiane; vers le milieu, la dépression augmente, et en arrière le palais, au contraire, devient excessivement bombé.

Maxillaire supérieur.

Nous sommes en possession de la partie la plus importante du maxillaire supérieur. Nous en avons eu trois fragments différents provenant de trois squalodons distincts. Le premier de ces morceaux est le bout antérieur du rostre, qui montre quatre alvéoles profondes dans lesquelles logent autant de dents caniniformes; la seconde pièce est un fragment du milieu du rostre dans laquelle trois fortes dents molaires véritables et à double racine se trouvent encore en place; la troisième pièce appartient à la partie postérieure du palais et montre les alvéoles des quatre dernières molaires.

Nous avons ainsi, parmi les débris trouvés à Anvers, tout le palais, depuis la première incisive jusqu'à la dernière molaire, et c'est précisément ce qui manque dans les squalodons trouvés ailleurs.

Nous allons successivement décrire ces fragments.

Le premier morceau auquel adhère encore l'os intermaxillaire est fort

allongé et montre que l'os maxillaire ne se termine pas insensiblement en pointe, comme dans les cétacés ziphioïdes; au contraire, cet os s'élargit assez brusquement en avant et laisse sur le palais des traces semblables à celles que nous voyons au palais des mammifères en général. Sa surface externe est légèrement bombée comme l'intermaxillaire, dont il n'est, pour ainsi dire, que la continuation. Il montre cinq alvéoles parfaitement distinctes et régulièrement espacées : la première pour la dent canine, les quatre suivantes pour des molaires, qui conservent la même forme que la canine proprement dite.

Nous admettons ainsi une dent canine, non parce qu'elle est distincte des autres par la forme, mais parce qu'elle occupe la première place dans l'os maxillaire.

Les deux maxillaires conservent la même largeur sur une grande partie de leur étendue, ce qui rend le rostre très-affilé, comme chez quelques dauphins ou comme chez les gavials, parmi les crocodiliens.

Le second fragment appartient à la région moyenne du maxillaire, celle qui présente le plus de résistance pendant la mastication. Il loge encore trois des principales molaires. La surface externe en est légèrement bombée comme dans le premier fragment, mais le corps de l'os a gagné en épaisseur. L'espace qui sépare les alvéoles devient de plus en plus étroit, à mesure qu'on approche des molaires postérieures. Les dents que ce fragment porte sont complètes, tant dans leurs racines doubles que dans leurs couronnes crénelées. Quoique ces organes soient encore en place, nous avons pu nous assurer exactement de la disposition véritable des alvéoles, qui sont toujours brusquement recourbées en arrière vers la pointe de la racine.

Le troisième fragment porte quatre alvéoles distinctes de dents molaires didymes, qui sont d'autant moins séparées les unes des autres, qu'on approche davantage de la dernière qui est en même temps la plus petite. Les alvéoles antérieures se courbent encore assez brusquement vers le milieu comme les précédentes, de manière que chaque racine forme un coude, qui la divise en une partie qui s'élève obliquement de bas en haut et d'avant en arrière, et une autre partie qui se place dans l'axe du rostre. Les racines des dernières dents sont courtes et légèrement courbées en arrière.

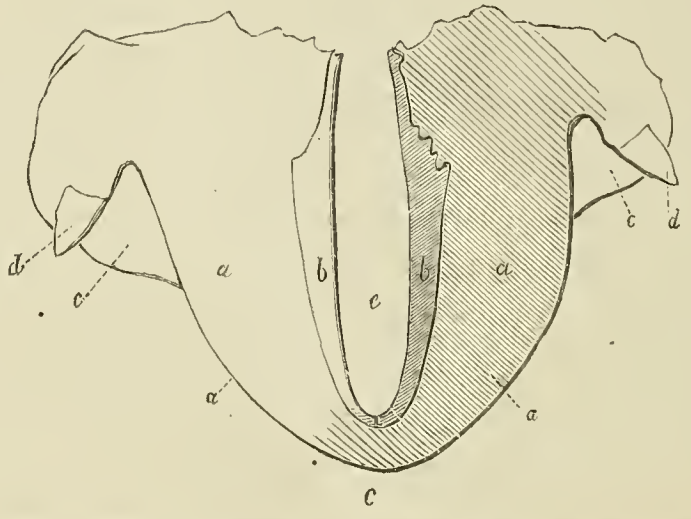
Ce fragment nous montre en même temps combien le palais est bombé en arrière et combien aussi est forte la proéminence qu'il forme sur la ligne médiane. En dedans, il est doublé par une portion du vomer, qui est fortement soudée à lui, mais qui cependant est parfaitement distincte dans toute sa longueur.

Ce vomer, qui tapisse une partie de la surface interne du maxillaire, est disposé exactement comme dans les cétacés ordinaires vivants.

DES OS DE LA FACE.

Nous ne pouvons mieux faire pour donner une idée de la disposition des os de la face, que de renvoyer à la figure que nous avons donnée plus haut de la coupe du rostre, immédiatement derrière les dents canines. C'est par là qu'on peut le mieux juger et de la suture des os incisifs, de leur réunion avec les maxillaires du palais et de la gouttière supérieure qui loge le ligament vomérien.

Nous ajoutons ici la figure qui représente cette région, pour montrer surtout comment se comporte le vomer dans le long canal du rostre.



Coupe du rostre à la hauteur de la dernière molaire. *aa.* Maxillaire. *bb.* Lames ou vomer. *c.* Palais. *dd.* Place de la dernière molaire. *e.* Canal longitudinal du rostre qui loge le long cordon cartilagineux.

En comparant les squalodons sous le rapport de la formation du rostre avec les autres mammifères aquatiques, nous ne voyons chez aucun d'entre eux un arrangement semblable. Les cétacés ziphioïdes ont aussi le bout du rostre formé exclusivement par les intermaxillaires, et les maxillaires eux-mêmes ne semblent les soutenir que comme des attels que l'on emploie dans les cas de fractures, mais c'est à peine s'ils se réunissent entre eux par suture, et il ne peut y avoir aucune solidité dans le bout de ce rostre. On sait qu'il y a du reste absence complète de dents au rostre de ces curieux cétacés. On n'en trouve qu'à la mâchoire inférieure et encore sont-elles toujours en fort petit nombre.

Les dauphins proprement dits s'éloignent encore plus des squalodons, puisque leurs os incisifs sont flanqués des maxillaires jusqu'au bout, et qu'il n'y a que tout juste la pointe qui est libre.

Les phoques, à cause de l'allongement de leur museau, sont ceux qui se rapprochent encore le plus sous ce rapport des squalodons. Ils ont aussi l'os incisif assez fort, portant souvent trois alvéoles, mais qui ne sont pas placées parallèlement comme dans les carnassiers squalodontes.

Une quatrième portion de la face appartient à la base du rostre; elle est reconnaissable à sa surface droite et unie, qui supporte l'os incisif au moment où celui-ci remonte pour contourner l'orifice des évents. Cette portion est reconnaissable aussi aux trous qui livrent passage aux nerfs provenant du maxillaire supérieur, mais on ne voit aucune trace de dents ni d'alvéoles; seulement on aperçoit une échancrure qui indique la base du rostre et le voisinage de la voûte orbitaire.

Le trou principal, qui est dirigé d'arrière en avant, loge sans doute le nerf le plus volumineux qui se rend aux lèvres (rameau labial); un autre se voit sur les flancs et se dirige du côté du globe de l'œil (rameau palpébral inférieur); un troisième est dirigé en arrière pour livrer passage au nerf des ailes du nez ou le rameau nasal. Cette pièce indique le passage de ces filets nerveux.

Une portion moyenne du rostre, du côté droit, a également été conservée. Il est fâcheux qu'elle ne soit pas restée avec les dents. On distingue, comme dans la pièce précédente, les traces du canal qui a logé les nerfs dentaires

et les vaisseaux nourriciers. Cette pièce ne présente de remarquable qu'un trou pour une partie du nerf sous-orbitaire, un bord uni en dedans, pour former avec l'os incisif la gouttière vomérienne et, en dehors, un sillon longitudinal, dont on voit également des traces dans le squalodon de Barie. Ce sillon ne présente qu'une courte étendue et se perd entièrement en avant.

Maxillaire inférieur.

Nous connaissons cet os, dans une grande partie de sa largeur, par divers fragments.

Nous possédons d'abord le bout du côté gauche, mais il est malheureusement trop mutilé pour bien juger de la disposition des dents incisives antérieures. Nous avons tout lieu de croire cependant, à en juger par le bout des alvéoles antérieures, que les deux premières dents sont placées, comme celles de dessus, dans l'axe même de cet os. Les racines que ce fragment a logées sont placées obliquement. Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que l'alvéole qui loge la quatrième dent est notablement plus grande que les autres et, d'après sa situation, c'est elle qui doit représenter la canine inférieure.

Dans ce fragment que nous avons fait figurer en place du côté droit, nous découvrons les traces de quatre dents antérieures et les rapports que montrent les racines entre elles.

Les deux branches du maxillaire inférieur sont soudées sur une grande partie de leur longueur, de manière que la symphyse est extraordinairement développée. Elle va jusqu'à la hauteur des vraies molaires.

Nous voyons dans les deux fragments qui forment la partie postérieure de la symphyse, à gauche, les alvéoles de quatre dents molaires, et à droite, celles au moins de six. Les racines de quelques-unes de ces dents sont encore en place, mais toutes les couronnes ont disparu.

Toutes ces dents sont régulièrement espacées, et entre les alvéoles on voit partout, en haut et en dehors, une excavation comme si un doigt y avait laissé les traces d'une forte pression.

Les deux branches de l'os maxillaire ne se touchent pas sur toute leur surface le long de la symphyse : en dessous, entre les deux os, on aperçoit une profonde échancrure.

Les deux branches de cet os s'écartent faiblement en arrière.

Dans un fragment qui ne montre plus que la moitié externe du maxillaire, on voit en dessous des alvéoles un très-large canal sur toute la longueur de l'os, qui s'ouvre à l'extérieur à la distance d'une dizaine de centimètres du bout du rostre. Jusqu'à présent, nous n'avons pu nous faire une idée bien claire de cette conformation dont nous ne trouvons pas de traces sur les autres pièces.

Entre les dents molaires on aperçoit, sur la face externe des os maxillaires, des dépressions produites par la couronne des dents supérieures. Ces dépressions sont assez profondes, et nous ne nous souvenons pas d'en avoir vu de semblables sur un animal vivant.

Il est digne de remarque que les rostres ou fragments de tête que l'on possède sont toujours brisés à peu près dans la même région : d'un côté, à l'endroit où les prémolaires à une racine se changent en molaires véritables, de l'autre côté, à l'endroit où l'os incisif est uni au maxillaire. Ainsi, la tête de Lintz est brisée de manière à montrer les six molaires postérieures, comme la tête de Léognan, tandis que le rostre de Barie est fracturé là où les os incisifs se soudent aux maxillaires, absolument comme un des fragments du rostre d'Anvers.

Ce n'est pas l'effet d'une circonstance fortuite que ces fractures identiques dans les têtes de Léognan, de Lintz et d'Anvers. Il y a une raison, et cette raison doit se trouver dans la disposition anatomique des os. En effet, le bout du rostre est évidemment le plus faible à l'endroit où les intermaxillaires s'unissent aux maxillaires, et c'est dans cette région que les os se brisent quand ils sont pendant quelque temps le jouet des vagues. C'est, en effet, entre les dents incisives et la canine que la fracture a toujours lieu. C'est pour ainsi dire l'os incisif qui se sépare du maxillaire.

On comprend également que le rostre se soit brisé au milieu entre les prémolaires et les molaires véritables, parce que plus en arrière il se ren-

force insensiblement jusqu'à l'orifice des évents. On voit parfaitement où le rostre doit se fracturer.

Nous avons soumis les divers os de *Squalodon* d'Anvers à un examen rigoureux, pour connaître les proportions de ce singulier animal. Voici le résultat de ces mesures :

Grateloup accorde vingt-deux à vingt-trois pouces de longueur au museau du squalodon qui porte son nom ; sa longueur réelle est de dix-huit pouces, et il suppose que la portion qui manque avait de quatre à cinq pouces. Ainsi, d'après Grateloup, la tête de squalodon de Léognan a environ soixante centimètres.

Cette longueur diffère considérablement de celle que M. Jourdan attribue à la tête trouvée à Barie. M. Jourdan lui attribue la longueur d'un mètre cinq centimètres ; mais il y a évidemment exagération. Cette tête a une vingtaine de centimètres de moins. Nous avons jugé sa longueur en ajoutant le bout du rostre que l'on croyait perdu, et la proportion que l'on obtient par cette ajoute correspond à la longueur que l'on accorderait par analogie. La longueur que M. Jourdan accorde au rostre serait en disproportion avec le volume du crâne.

Il est à remarquer que cette longueur que nous leur accordons est beaucoup mieux en rapport aussi avec le nombre de dents caniniformes, dont les maxillaires sont armés.

La longueur du rostre, depuis les évents jusqu'au bout de l'intermaxillaire ou la couronne des dents incisives antérieures, est de soixante-trois à soixante-quatre centimètres. La longueur du rostre, à partir de la dernière molaire, est de quarante-huit centimètres.

La longueur totale de la tête est de quatre-vingt-trois centimètres.

La hauteur du crâne, vers le milieu de l'arcade zygomatique, est de vingt et un à vingt-deux centimètres. L'épaisseur de cette portion du temporal qui forme cette arcade est de cinq centimètres.

La hauteur du maxillaire inférieure en arrière est de quinze à seize centimètres.

Ces mesures sont prises sur une tête que nous avons reconstruite d'après

un fragment de maxillaire inférieur d'un animal de la plus forte taille.

Il y a ainsi une vingtaine de centimètres de différence dans la longueur des deux têtes de Léognan et de Barie.

La portion de tête de squalodon de Lintz mesure à peu près cinquante centimètres. Cette tête est plus forte que celle de Barie. La longueur totale ne devait pas être beaucoup au-dessous d'un mètre.

Voilà donc trois dimensions différentes.

Si nous comparons à ces pièces connues les portions de tête observées à Anvers, nous trouvons d'abord une bonne portion de maxillaire supérieur avec les dents qui indique une taille se rapprochant de celle du *Squalodon de Barie*, puis une portion de maxillaire inférieur dont la symphyse indiquant un animal ayant la moitié de plus que l'autre en longueur.

A en juger par les débris que nous avons recueillis, et que nous n'avons aucune raison d'attribuer à des animaux d'âge différent, la mer du crag nourrissait des squalodons de trois grandeurs différentes. Celui dont nous possédons le plus de débris devait avoir à peu près une longueur totale de quatre mètres. Le plus grand, dont nous possédons un fragment de maxillaire inférieur, pouvait avoir un mètre de plus. Et le plus petit, dont nous avons le palais et les molaires postérieures, devait avoir à peu près un mètre et demi de moins que le précédent.

DENTS.

La connaissance des dents est un point extrêmement important de l'histoire des mammifères, et plus particulièrement encore de ceux dont les affinités ne sont pas positivement établies. Le système dentaire des squalodons est encore loin d'être bien déterminé, et l'on comprend que nous attachions de l'importance à bien connaître ces organes de la mastication dans tous leurs détails. Il ne peut y avoir la moindre modification dans ces corps qui n'ait une importance réelle et ne se manifeste dans toute l'étendue de l'organisme.

Presque tous les auteurs qui ont parlé de ces animaux leur ont accordé

deux sortes de dents. Nous avons été nous-même du nombre. Il est vrai, il n'y a à proprement parler que deux *formes* de dents, en faisant abstraction des deux antérieures : les unes en forme de crocs et semblables à des canines; les autres en forme de pyramides crénelées sur leur bord, correspondant, par leur place, leurs racines et leurs formes, aux vraies molaires. Mais n'y a-t-il pour cela que deux sortes de dents, comme on l'a dit? Nous ne le pensons pas. Il faut évidemment leur accorder les trois sortes comme aux carnassiers véritables, puisque l'os intermaxillaire, parfaitement distinct au bout du rostre, loge des dents dans des alvéoles complétement isolées, et dont tous les caractères les assimilent aux dents incisives.

Nous avons reçu en communication un bout de rostre avec plusieurs dents encore en place. Le maxillaire est parfaitement séparé de l'intermaxillaire, et on voit distinctement que celui-ci porte six dents. Ce sont bien des dents incisives. La dent suivante, un peu plus forte, surtout au maxillaire inférieur, est une canine; celle de dessous vient se placer au-devant de la première dent qui est logée dans le maxillaire supérieur : ce sont évidemment les deux canines. Les dents suivantes, quelles que soient leurs formes, sont des molaires que l'on peut fort bien répartir en prémolaires et en molaires véritables.

Le rostre de ces animaux est formé, ainsi que nous l'avons dit plus haut, comme celui des crocodiliens parmi les reptiles, c'est-à-dire que les intermaxillaires forment à eux seuls toute la pointe, et que les maxillaires se terminent en avant à une assez grande distance de l'extrémité libre.

Les os intermaxillaires forment en avant, et sans le concours des maxillaires, les parois de la longue gouttière au milieu de laquelle se loge le cordon cartilagineux qui termine en avant le corps de l'ethmoïde.

Dents incisives. — Les dents incisives sont au nombre de six à chaque mâchoire et, sauf les deux antérieures, elles sont à peu près toutes semblables tant par leur forme que par leur direction et leur volume.

La couronne est en forme de croc comme une canine ordinaire. Elle est légèrement comprimée et se divise en face externe et face interne, entre lesquelles on distingue un repli sur le bord postérieur. Toute la surface

de la couronne est entourée d'une même couche d'émail, couverte de sillons séparés les uns des autres par un même espace (un millimètre), et qui s'étendent du collet à la pointe. Toute la surface de l'émail a conservé son brillant. La pointe de toutes ces dents est usée par la mastication.

Toutes ces dents laissent un espace régulier entre elles que l'on peut évaluer au sommet à trente millimètres.

Une ligne de démarcation assez nettement tranchée sépare la racine de la couronne.

La racine de toutes les incisives est très-grande et atteint jusqu'à deux et trois fois la longueur de la couronne. Elles sont insérées obliquement dans de profondes alvéoles.

Ces dents sont généralement massives ou creusées légèrement au milieu; la pointe est sans excavation et se courbe toujours de manière à se placer dans l'axe même des mandibules.

La dent est toujours plus grosse au haut de la racine qu'au collet et à la couronne. Elle est légèrement comprimée au collet, mais elle s'arrondit à mesure qu'on approche du bout.

Au sortir de l'alvéole toutes ces dents se courbent légèrement, et la troncature de la couronne est toujours horizontale.

Chaque dent a de neuf à dix centimètres de longueur, dont la racine occupe les deux tiers.

Les deux incisives de devant sont un peu plus longues et plus fortes que les autres, et on peut les considérer, puisque les lèvres ne pouvaient les couvrir, comme de petites défenses. La racine seule a neuf centimètres de longueur. Elle est à peu près droite et son alvéole s'étend directement d'avant en arrière. Ces dents sont très-rapprochées l'une de l'autre, et comme elles occupent presque toute l'épaisseur de l'os, il ne reste autour de chaque racine qu'une fort mince couche de tissu osseux. Ce sont les racines des dents qui donnent la solidité aux mandibules.

Ces dents sont malheureusement brisées dans l'échantillon que nous possédons, mais de la racine on peut parfaitement conclure à la couronne, et nous n'hésitons pas à affirmer que celle-ci est plus forte que la couronne des autres incisives, en même temps qu'elle est plus régulièrement arrondie. La

bordure qui se trouve dans les autres incisives, en avant et en arrière de la couronne, se trouve ici en dedans et en dehors.

Dans la tête trouvée à Barie les dents incisives sont encore en place et leur disposition confirme l'idée que nous nous étions faite de leur longueur comme de leur volume et de leur direction. Ce que nous n'avions pu prévoir, c'est que leur couronne est fortement et irrégulièrement usée, et il n'est pas douteux, comme le fait observer M. Paul Gervais, que cette usure ne date du vivant de l'animal. Ces dents proéminentes étaient plus exposées que les autres au bris et à l'usure, comme la défense courbée de l'éléphant ou la défense droite du narval.

Nous ne sommes pas en possession de dents incisives inférieures de squalodon, mais heureusement nous avons un fragment de maxillaire inférieur, dont les alvéoles nous font comprendre les dents.

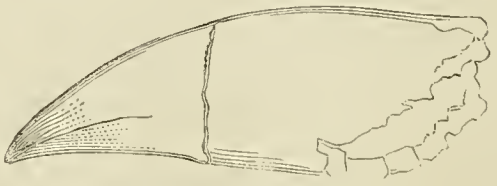
Dans cette pièce nous voyons, au-devant de l'alvéole que nous regardons comme une alvéole de canine, trois autres alvéoles placées comme dans l'intermaxillaire, et dont la forme comme la courbure indiquent des dents semblables aux incisives supérieures, sans même en excepter les défenses.

Le fragment de squalodon décrit par Gervais confirme entièrement cette supposition.

Nous avons eu sous les yeux trois dents, trouvées également à Anvers dans le crag noir, et dont les caractères les plus importants les rapprochent des squalodons.

La racine est comparativement courte, très-renflée vers le milieu, creuse jusqu'à la couronne et large à sa base. La surface en est aussi unie à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Toute la dent est arrondie, présentant tout au plus une légère compression vers le sommet de la couronne qui est entière.



Dent antérieure de Squalodon.

La surface de la couronne n'est pas, à proprement parler, striée comme les dents connues de squalodon; cette surface est au contraire légèrement chagrinée, laissant apercevoir au toucher une légère rugosité.

De deux côtés elle porte un léger repli qui aboutit à la pointe et qui divise la couronne en deux moitiés égales. En arrière, ce repli se perd avant d'atteindre le collet.

Dans les deux autres, dont l'une est au musée Teylerien de Haarlem, le repli de la couronne est aussi parfaitement distinct et n'occupe, comme dans celle dont nous venons de parler, qu'une partie de la longueur de la couronne. L'émail en est également brillant, mais toute la surface est un peu plus régulièrement striée.

En considérant le peu de développement de la racine et la forme de sa cavité, il n'est guère douteux que ces dents ne proviennent d'un jeune animal; c'est ce que la couronne et les deux replis qui la couvrent font également supposer. Ce sont peut-être de jeunes défenses.

Dents canines. — Si nous attribuons des dents canines à ces animaux marins, ce n'est point, comme nous l'avons dit, qu'elles affectent une forme particulière et qu'elles fonctionnent autrement que les incisives et les prémolaires, mais parce que les premières dents qui suivent les incisives méritent ce nom.

Ces dents canines sont en tout semblables, par la racine unique comme par la forme de la couronne, ainsi que les replis et la pointe, à celles qui les précèdent comme aux premières molaires qui les suivent.

A la mâchoire inférieure, à en juger par l'alvéole du moins, la dent canine doit être plus forte qu'à la mâchoire supérieure, et la forme ainsi que la direction pourraient ne pas être entièrement semblables. La direction de l'alvéole diffère des autres aussi bien que sa grandeur.

C'est un fragment de maxillaire inférieur dont les alvéoles sont bien conservées, qui nous fait comprendre la disposition de ces premiers organes de mastication.

Comme ce morceau de maxillaire inférieur ne présente d'autres caractères que ceux fournis par les alvéoles, nous n'avons eu, pour nous guider dans la place qu'il devait occuper, que leur arrangement, la disposition des sur-

faces et le diamètre de l'os. Après lui avoir assigné sa place au-dessous du rostre, nous avons trouvé que la grande alvéole s'ouvrait au-devant de la canine supérieure, et que les deux dents prennent leur véritable place, c'est-à-dire la canine inférieure au-devant de la canine supérieure.

Dents molaires. — Les dents molaires sont de deux sortes : les unes, les antérieures, sont à une seule racine, et leur couronne est caniniforme, les autres sont à deux racines, et la couronne est comprimée et à bords crénelés.

Les premières ou les prémolaires ne se trouvent plus en place dans le *Squalodon* d'Anvers, mais leurs alvéoles sont parfaitement connues, et on peut juger par elles de la racine comme de la couronne. En dessus comme en dessous il existe, pensons-nous, quatre prémolaires de la même forme que les incisives et les canines, de manière que chaque mâchoire porte en avant huit dents en crocs, dont trois incisives, une canine, et quatre molaires.

Les dents molaires et prémolaires à une seule racine changent-elles brusquement quant à la forme de la couronne et à la disposition de leurs racines? Les molaires sont-elles toutes à couronne comprimée étagée et à double racine? Les prémolaires (M. Jourdan ne parle que de ces deux sortes) sont-elles toutes semblables entre elles par la couronne et par la racine?

Quand je dis que ces quatre prémolaires sont parfaitement semblables les unes aux autres, cela n'est pas tout à fait exact. Depuis la première, qui est en tout pareille par la couronne et la racine à la dent canine, à la dernière, il existe une transition insensible, de manière que l'on peut assigner sa place véritable à chacune de ces dents; il suffit pour cela de consulter sa ressemblance plus ou moins grande avec la canine ou la première molaire.

La couronne des premières dents molaires est simplement bordée d'abord, elle est finement denticulée dans les suivantes, puis régulièrement crénelée vers le milieu de la mâchoire; la racine, unique en avant, s'aplatit ensuite, perd de sa longueur, s'étend en largeur et enfin se bifurque vers le milieu de l'os maxillaire.

Toute dent franchement crénelée est à double racine ou didyme.

Une molaire libre m'a été communiquée par un de mes amis. Elle a la couronne assez petite, le collet fort sinueux et la racine singulièrement con-

tournée sans être fort longue. L'émail présente en avant et en arrière une bordure finement crénelée. La dent est creuse à l'intérieur. C'est probablement l'avant-dernière prémolaire.

J'ai eu entre les mains encore une dent en tout semblable à la précédente.

La dent la plus intéressante est la quatrième molaire, celle qui fait la transition, par sa couronne comme par sa racine, entre les dents en croc et les dents crénelées.

Dans les vrais zeuglodons toutes les dents molaires sont crénelées et à deux racines.

La racine des vraies molaires est, relativement aux autres, courte et fort large; vers le milieu de la longueur elle s'aplatit considérablement, et une légère dépression indique l'origine des deux racines qui caractérisent les vraies molaires. C'est la disposition que l'on trouve dans les molaires des jeunes phoques. Il n'y a encore qu'une seule cavité dans la racine.

Cette dent a la couronne comprimée, son bord antérieur et postérieur aminci et un commencement de crénelures apparaît sur les bords. La pointe est usée comme dans les autres. Des stries fines recouvrent toute la surface de la couronne.

J'ai vu deux de ces dents de transition, une au musée Teylerien de Haarlem, une autre entre les mains d'un ami.

Malgré la grande diversité des deux sortes de dents dans les zeuglodons, on voit cependant une transition des unes aux autres, à en juger par la figure que J. Müller donne d'une de ces dents [1].

En comparant les dents de dessus à celles de dessous, nous voyons que la canine inférieure prend sa place véritable, mais si nous ne nous trompons, la première vraie molaire inférieure est située derrière la première molaire supérieure.

Les molaires véritables sont à double racine, et leur aspect diffère tellement des autres, qu'à moins de les voir réunies, on n'aurait jamais soupçonné qu'elles vinssent du même animal.

Ces dents molaires sont, si nous ne nous trompons, de chaque côté au nombre de sept; elles sont toutes zeuglodontes. Les quatre dernières sont

[1] *Ueber die fossilen Reste der Zeuglodonten von Nord America*, pl. XV, fig. 5.

seules rapprochées de manière à ne pas laisser d'intervalle. L'espace augmente insensiblement de la cinquième à la sixième, puis à la septième, et la première molaire est séparée de la dernière prémolaire, comme ces dernières le sont entre elles. Nous figurons ici une molaire complète.

Seconde dent molaire de droite : *a*. Bord antérieur. *b*. Bord postérieur.

Les racines ne sont pas séparées jusqu'à la couronne; la postérieure est un peu plus forte que l'autre, surtout à la base. Ces deux racines s'implantent obliquement dans une grande alvéole, cloisonnée plus ou moins complétement; elles s'élèvent jusqu'à la moitié de la hauteur du maxillaire, puis se recourbent assez brusquement tout en conservant leur distance.

Ces racines sont toutes pleines.

Toutes ces dents, au lieu d'être verticales, sont implantées obliquement dans le maxillaire, de manière à former avec le palais un angle obtus. Cet angle semble varier d'un animal à l'autre.

Il a fallu de fortes lèvres pour couvrir des dents aussi fortement proéminentes.

La couronne de ces dents est aplatie et de forme triangulaire. Si on faisait la coupe au collet de la dent molaire la présence de deux racines ne serait que très-faiblement indiquée, contrairement à ce que nous montre le zeuglodon.

En regardant une molaire en place d'avant en arrière, c'est-à-dire sur son côté tranchant, c'est à peine si on pourrait la distinguer d'une prémolaire. Ces dents ont à peu près toutes la même direction et la même courbure.

Il en est encore de même de sa surface interne; si ce n'est qu'elle est plus large à la base, on ne la distinguerait pas, la surface étant couverte d'une couche d'émail tout à fait semblable et régulièrement striée comme dans les prémolaires. La pointe même est aplatie de la même manière.

La face externe offre au contraire un tout autre aspect. Elle montre d'abord l'échancrure au milieu, qui est le commencement de la séparation des deux racines, mais c'est surtout la surface plutôt ridée que régulièrement striée qui la distingue.

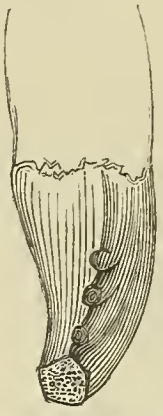
Au fond cependant ces différences entre les deux surfaces ne sont pas fort importantes : en braquant une loupe sur la couronne, on voit le collet finement strié des deux côtés, et de ces stries sortent des replis de plus en plus importants, dont l'aspect rappelle certaines algues marines.

Voici maintenant ce que ces dents offrent de plus caractéristique. Il existe un bourrelet sur le bord antérieur comme dans les dents caniniformes, mais, au lieu de s'étendre régulièrement du collet au sommet de la couronne, ce bourrelet montre des nœuds tout près du collet surtout, et l'on voit une partie de la substance osseuse de la dent à nu, comme si les deux couches n'avaient pu se rejoindre complétement.

Bord antérieur d'une dent molaire.

Le bord postérieur présente non pas précisément des dentelures formant

divers étages, mais des pointes usées comme la pointe principale, autour desquelles on voit l'émail se conduire exactement de la même manière.



Bord postérieur d'une dent molaire.

Dans une dent parfaitement conservée, le bord antérieur présente tout près du collet deux éminences très-petites, tandis que le bord postérieur en a quatre toutes également développées, qui rappellent les ventouses situées en rang sur le bras des céphalopodes.

Sur trois vraies molaires qui sont conservées avec un fragment de maxillaire supérieur, la première présente sur son bord antérieur, en haut, une dentelure usée, puis un espace entre les couches d'émail qui restent écartées comme deux lèvres; le bord postérieur a quatre tubercules usés. La dent suivante montre les deux couches d'émail écartées sur le bord antérieur et sur le bord postérieur, mais sur ce dernier bord on voit encore les traces de trois tubercules. La troisième dent est à peu près comme la seconde.

Il est à remarquer que le sommet de ces trois dents est plus usé que dans les autres.

L'étude des crénelures offre un intérêt réel. En général, le bord antérieur des molaires est, comme chez les phoques, moins crénelé que le bord postérieur. La dent antérieure du *Squalodon Grateloupii* n'a qu'une dentelure en avant, mais cinq en arrière; l'antépénultième en a deux en avant et le même nombre en arrière; puis les deux dernières semblent en conserver trois en avant, tandis qu'en arrière le nombre diminue. Les deux dernières en auraient ainsi trois et quatre.

Les deux dernières dents de Lintz, qui sont restées en place, montrent le même nombre trois sur les deux bords. Nous nous permettrons de faire observer que nous avons fixé particulièrement notre attention sur ce point, et cela la loupe à la main.

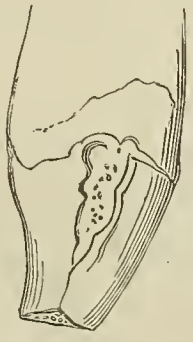
Une dent molaire isolée d'un individu assez petit, que M. Erdlicher nous a montrée au moment de quitter Lintz, a le bord antérieur à peine ondulé, mais le bord postérieur porte, vers le collet, deux œillets extrêmement petits qui échappent facilement à l'observateur.

Trois dents en place. — Le musée de Bruxelles est en possession d'un beau fragment de maxillaire supérieur, montrant trois dents molaires complètes, dont les bords me semblent mériter une attention particulière.

C'est sans doute un effet de l'âge et de l'usure, que la transformation des dentelures en œillets et de ceux-ci en bords ondulés; mais il n'en est pas moins vrai que ces modifications permettent de reconnaître la place relative de chaque molaire.

Dans toutes ces dents les deux bords, antérieur et postérieur, diffèrent beaucoup entre eux; souvent le caractère propre de squalodon n'apparaît que sur le bord postérieur.

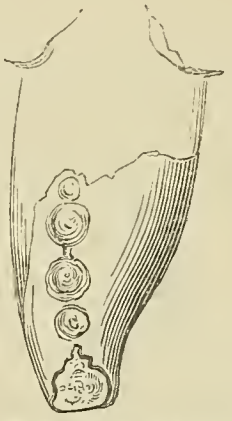
La première molaire a son bord antérieur sans crénelures ni œillets, mais la base, ou le voisinage de la couronne, est dépourvue d'émail, et les lèvres sont ondulées de manière à faire soupçonner qu'il y a eu trois dentelures complétement usées.



Bord antérieur de la première molaire conservée en place.

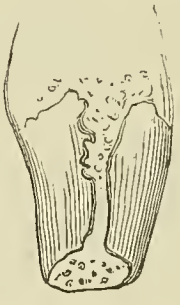
Vers la pointe l'émail est complet. Le bord postérieur de la même dent

porte quatre œillets complétement séparés, dont le supérieur est le plus petit, et les autres diminuent en diamètre de la couronne à la pointe.



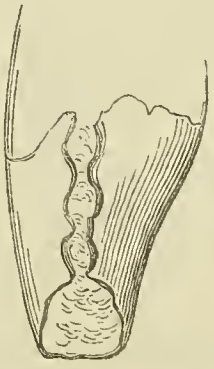
Bord postérieur de la première molaire.

La seconde molaire a les lèvres de l'émail écartées dans toute la longueur sur le bord antérieur



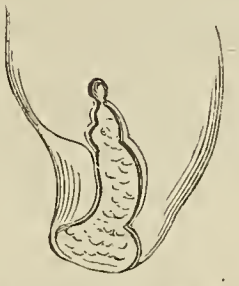
Bord antérieur de la seconde molaire.

comme sur le bord postérieur.



Bord postérieur de la seconde molaire.

Les lèvres de ce bord indiquent l'existence de trois œillets ou dentelures. La troisième molaire,



Bord antérieur de la troisième molaire.

tout en conservant en haut et en avant un tout petit œillet, a les lèvres d'émail fortement écartées, surtout vers la pointe, tandis que le bord postérieur ressemble complétement à la dent précédente.

Bord postérieur de la troisième molaire.

Ces dents sont figurées de grandeur naturelle et se suivent dans l'os maxillaire.

On peut donc distinguer les molaires entre elles; on peut reconnaître le bord antérieur aux dentelures moins nombreuses, mais nous ne connaissons pas le moyen de distinguer les molaires supérieures des inférieures. Aussi nous ne savons si le fameux morceau de maxillaire, figuré par Scilla, est d'un maxillaire supérieur ou inférieur.

Nous connaissons en tout six dents molaires de squalodon à Anvers, dont quatre sont encore en place. Nous venons de faire connaître les trois principales, qui appartiennent au côté gauche.

Une quatrième dent molaire du côté opposé, c'est-à-dire de droite, a la même dimension et provient peut-être du même individu. C'est une molaire véritable, mais une des premières en avant.

La racine postérieure est beaucoup plus forte que l'antérieure.

Le bord antérieur, comme on le voit dans la figure ci-dessus, a les deux lèvres d'émail encore rapprochées, sauf dans le voisinage du collet. En dessous de la commissure, en regardant attentivement, on aperçoit trois petits œillets assez rapprochés les uns des autres. Le bord postérieur montre également trois œillets, mais tout en étant assez grands, ils sont cependant plus petits que ceux de la première molaire du côté opposé.

En tout cas ces deux molaires se correspondent.

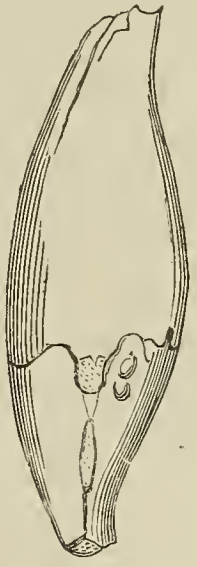
La cinquième est une des premières molaires de droite enco e en place dans l'os maxillaire supérieur. Au-devant d'elle on voit l'empreinte d'une des racines de la molaire précédente, qui est également encore une molaire véritable.

Cette molaire appartient à un individu un peu moins fort que celui dont proviennent les quatre dents précédentes.

Le bord antérieur est complet. Les lèvres d'émail ne présentent aucun écartement. Près du collet on découvre seulement quelque tendance à former des bosselures, mais elles sont petites et irrégulières.

Le bord postérieur de cette même molaire montre des dentelures ou œillets encore complets au nombre de quatre. Les deux œillets moyens sont les plus développés. Le plus rapproché de la pointe se distingue à peine par sa saillie, et le supérieur a encore moins de proéminence.

La dernière dent molaire dont il nous reste à parler paraît provenir du même animal que les quatre premières. Elle est fort intéressante par ses deux bords. En effet, le bord antérieur montre, au milieu, une lésion de continuité des couches d'émail, qui prend la forme d'une bouche de plagiostome, tandis qu'au collet les deux bords sont de nouveau écartés, comme on le voit dans la figure ci-dessous.



Le bord postérieur présente dans cette même dent quatre œillets complétement séparés : les trois inférieurs de grandeur égale, le supérieur un peu plus petit.

Cette dent semble devoir suivre la dent isolée que nous avons considérée plus haut comme une quatrième molaire.

Toutes les dents que nous possédons, caniniformes ou sagittiformes, ont la pointe régulièrement usée par la mastication; c'est sans doute l'indice du développement adulte des individus dont elles proviennent.

Si l'on compare entre elles ces diverses sortes de dents crénelées, connues jusqu'à présent, il est évident qu'il existe entre elles des différences très-grandes, dont il est difficile aujourd'hui de saisir toute l'importance. Les dents de zeuglodon sont toutes remarquables par le nombre et par la forme

des crénelures, et les deux bords se ressemblent toujours plus que dans les squalodons.

De toutes les dents de ce genre trouvées en Europe, ce sont celles de Malte, décrites par Scilla, qui se rapprochent le plus des zeuglodons. Ce sont aussi celles qui nous semblent les plus voisines des phoques.

La dent figurée par Gervais, pl. VIII, fig. 11, est bien différente de celle de Scilla et de celle qu'il a figurée, même planche, fig. 12 [1].

Il n'y a généralement qu'une seule sorte de dents dans les cétacés souffleurs : c'est ce qui diminue l'intérêt de la formule dentaire de ces animaux. Il n'en est pas de même dans les squalodons, qui ont des incisives véritables, comme nous venons de le dire, des canines et des molaires.

Grateloup, partant de l'idée que les squalodons sont des reptiles, ne s'est naturellement pas occupé des diverses sortes de dents de ces carnassiers. Il leur accorde dix molaires crénelées, de chaque côté et à chaque mâchoire, ce qui est évidemment une erreur. Ces organes ne sont pas non plus aussi régulièrement placés qu'il le pense. Il y a un certain espace entre eux, mais cet espace n'est pas partout le même. Les squalodons n'offrent aucunement cette régularité des squales.

En parlant du *Squalodon* de Grateloup, M. Pictet se borne à dire que leurs dents sont au nombre de dix de chaque côté. Il est, du reste, difficile de dire autre chose d'après le rostre de Léognan.

M. Staring s'est également occupé des diverses sortes de dents, mais il n'a connu que des dents isolées, les unes des molaires, les autres des canines. Le savant naturaliste de Haarlem leur accorde cinq ou six canines ou plutôt caniniformes, et huit ou neuf molaires, ce qui ferait de vingt à vingt-quatre des premières, de trente-deux ou trente-six des secondes.

M. Staring est bien près de la vérité, et nous sommes surpris de voir qu'il ait pu s'en approcher de si près sans avoir vu des dents en place.

La tête décrite par M. Jourdan est la pièce la plus complète que l'on connaisse, mais l'absence du bout du maxillaire n'a pas permis à ce savant de bien apprécier le système dentaire. Nous l'avons déjà dit, M. Jourdan a cru le

[1] *Loco citato.*

rostre de cet animal plus long qu'il n'est réellement, et c'est ce qui lui a fait élever trop haut le chiffre des dents antérieures.

M. Jourdan ne leur accorde aussi que deux sortes de dents, des molaires et des prémolaires : les premières, au nombre de six au-dessus et de sept au-dessous, les autres, au nombre de vingt-quatre ou de vingt-six de chaque côté et à chaque mâchoire.

Il est évident que ce dernier chiffre est exagéré, quand même on désignerait sous le même nom de prémolaires, les incisives et les canines. Ce nombre ne dépasse pas en tout le chiffre de huit, comme nous allons le voir [1].

Le bout du maxillaire de la tête décrite par ce savant n'a heureusement pas été perdu; c'est ce qui nous permet de préciser la largeur du rostre et de mieux juger du nombre total des dents. Cette tête de Barie vient confirmer le résultat de nos observations sur les diverses sortes de dents du *Squalodon* d'Anvers.

Les pièces de Léognan, de Barie, de Lintz et d'Anvers montrent toutes les dernières dents molaires en place. On en voit six, ou du moins les alvéoles, dans le maxillaire de Grateloup, de Erdlicher et de Jourdan; et dans les deux premières pièces, ce maxillaire est brisé également vers le milieu du rostre, là où commencent les prémolaires. A Anvers, nous avons heureusement, comme nous l'avons déjà dit, la moitié antérieure du maxillaire et tout l'intermaxillaire avec les dents en grande partie en place; il pourrait y avoir tout au plus doute sur une seule dent qui serait à ajouter aux prémolaires ou aux molaires.

La mâchoire inférieure ne nous a laissé que des fragments assez incomplets à Anvers; mais il ne sera cependant pas difficile d'arriver à une détermination assez exacte des dents inférieures, par le maxillaire de Barie et celui de Léognan réunis.

Les squalodons ont des défenses plus ou moins droites, des dents crochues à une seule racine, puis des molaires véritables à double racine, comprimées

[1] Nous supposons qu'il y a une erreur typographique dans le chiffre donné pour les prémolaires par M. Jourdan; nous ne comprenons pas comment le savant directeur du musée de Lyon aurait pu supputer un nombre aussi élevé, vingt-quatre ou vingt-six, au lieu de sept ou de huit.

et dentelées sur le bord postérieur surtout. Ces dents sont les unes de véritables incisives, puisqu'elles sont implantées dans l'os de ce nom, les autres des canines, quoiqu'elles n'aient pas une forme spéciale, comme nous l'avons dit, et, toutes celles qui suivent sont des molaires, qu'elles soient à racines doubles ou à racines simples.

Depuis la première dent qui suit la canine, ou depuis la première molaire jusqu'à la quatrième, on n'observe guère de modifications; elles sont toutes également caniniformes et régulièrement espacées; mais la suivante, c'est-à-dire la cinquième, se modifie dans sa couronne comme dans sa racine, et elle fait réellement la transition aux molaires proprement dites. La racine tend à se bifurquer; la couronne s'aplatit un peu en même temps qu'elle prend de la largeur à la base, et les premières traces de crénelures se découvrent dans le ruban qui garnit le bord postérieur.

Viennent ensuite les dents didymes ou à double racine, à crénelures plus ou moins bien marquées sur le bord postérieur, et dont la taille augmente légèrement jusqu'à la troisième, puis diminue insensiblement. Les quatre dernières sont aussi moins espacées que les autres, et les racines deviennent proportionnellement fort courtes.

Nous avons donc, en résumé, les formules suivantes :

D'après Grateloup . . : molaires $\frac{10}{?}$;

D'après Pictet . . . . : — $\frac{10}{10}$;

D'après Staring . . . : canines $\frac{5 \text{ ou } 6}{5 \text{ ou } 6}$; molaires $\frac{8 \text{ ou } 9}{8 \text{ ou } 9}$;

D'après Jourdan : prémolaires $\frac{24 \text{ à } 26}{24 \text{ à } 26}$; molaires $\frac{7}{6}$.

D'après nous, les squalodons possèdent :

Incisives $\frac{3}{3}$; canines $\frac{1}{1}$; prémolaires $\frac{4}{4}$; molaires $\frac{7}{7} = \frac{15}{15}$.

Comparons cette formule dentaire avec celle des zeuglodons :

Joh. Müller admet de chaque côté, dans les zeuglodons, quatre dents pointues et cinq dents crénelées à double racine [1].

[1] Joh. Müller, *loc. cit., Nachtrag.*, p. 31.

Pictet, dans son *Traité de paléontologie*, donne la formule suivante aux zeuglodons :

$$\text{Incisives } \frac{3}{4}\text{; can. anorm. } \frac{1}{0}\text{; mol. } \frac{5}{5} = \frac{9}{9}.$$

Cette formule est donnée d'après la belle tête de Haarlem, que J. Müller a figurée pl. XXVI.

Il nous paraît évident que cette formule n'est pas exacte; la quatrième incisive inférieure est plutôt une canine, et, en la considérant ainsi, la formule devient normale.

Indépendamment du plus petit nombre de dents, ce qui ressort le plus clairement de cette comparaison des zeuglodons et des squalodons, c'est que ces derniers ont des prémolaires à une racine qui n'existent pas chez les autres.

On a remarqué, dans une pièce surtout, que le nombre de dents ne se reproduit pas exactement à droite et à gauche, mais il ne faut sans doute pas attacher une grande importance à cette anomalie, qui est purement individuelle.

Il n'est pas à supposer que la symétrie, qui existe partout ailleurs, fasse défaut dans les dents de ces mammifères.

III.

DESCRIPTION

DES DÉBRIS DE SQUALODON TROUVÉS DANS LE MIDI DE LA FRANCE, LA HAUTE AUTRICHE ET LES PAYS-BAS.

Nous allons passer en revue les débris de squalodon connus jusqu'à présent. Nous parlerons d'abord de ceux que l'on a trouvés dans le grès marin de Léognan, près de Bordeaux, dans la molasse d'Uzès (Gard) et dans le calcaire marin des carrières de Barie; puis de ceux que l'on a mis à nu dans la molasse, près de Lintz (haute Autriche) et enfin de ceux que l'on a observés en Gueldre (Pays-Bas).

Squalodon de Léognan et de Saint-Jean-de-Vedas.

Le squalodon de Grateloup a été établi sur un beau fragment de rostre, découvert à Léognan par M. le docteur Lavallée, et dont Grateloup, de Bordeaux, a donné une description, en 1840, dans les *Mémoires de l'Académie de Bordeaux.*

Ce rostre montre six dents molaires à double racine, comme le rostre trouvé à Lintz, mais la couronne des dents est bien mieux conservée dans le rostre de Léognan que dans la tête de la haute Autriche.

Il y a quatre dents encore en place; la troisième molaire est la plus forte, et les trois dernières, qui vont en diminuant, sont en même temps de plus en plus rapprochées les unes des autres.

Cette troisième molaire n'a qu'une seule dentelure sur son bord antérieur, tandis qu'elle en a cinq sur son bord postérieur.

La cinquième molaire a deux dentelures sur son bord antérieur, quatre ou cinq sur son bord postérieur.

Les deux dernières montrent trois dentelures en avant et quatre en arrière.

D'après cette pièce, si cette disposition des dentelures est constante, on devrait pouvoir distinguer les molaires entre elles.

Le rostre offre de la ressemblance avec le rostre des cétacés souffleurs et nous n'avons pas hésité, quand nous l'avons vu pour la première fois, en 1840, à Bordeaux, de dire au docteur Grateloup : Votre squalodon n'est pas un reptile, mais un dauphin.

Il n'y avait malheureusement à Bordeaux pas un seul crâne de cétacé quelconque, pour convaincre à l'instant M. Grateloup par la comparaison.

On voit en haut la grande gouttière vomérienne, bordée par l'os incisif qui remonte jusqu'aux fosses nasales. Le palais forme en arrière une forte saillie, comme on l'observe dans tous les vrais cétacés en regardant le crâne de profil.

A la hauteur de l'avant-dernière molaire on voit le principal trou sous-orbitaire, et un peu en arrière ainsi que sur le côté, sont situés, comme dans les cétacés souffleurs, les autres trous, dont un se dirige vers les paupières pour loger sans doute un des nerfs palpébraux. Le trou principal loge les rameaux labiaux, tandis que celui qui se dirige en arrière livre passage aux rameaux nasaux.

Pendant longtemps on n'a connu que le bout du rostre, mais quand J. Müller a publié le résultat de ses recherches sur les zeuglodons, Grateloup était en possession d'un atlas qu'il attribuait à ce même animal. M. Grateloup a eu l'obligeance de nous le communiquer peu de temps avant sa mort, et nous allons le faire connaître.

Cet *atlas* [1] provient des faluns de Salles (Miocène) et appartient au musée de Grateloup. C'est le même dont J. Müller parle dans son beau travail sur les zeuglodontes de l'Amérique du Nord. Il a été déterré en 1842.

Cette première vertèbre est complétement séparée de l'axis. Son état de conservation est assez complet.

[1] Pl. III, fig. 2.

Cette séparation complète de l'atlas des autres vertèbres n'est pas sans quelque importance, puisque ce caractère ne s'observe que dans un petit nombre de cétacés. Les Balénoptères, les Siréniens et quelques Delphinides, comme les Belugas et les Narvals, sont les seuls qui aient leur première vertèbre cervicale non soudée.

La forme en est annulaire; elle est un peu plus large sur le côté, plus étroite en dessous et plus étroite encore au-dessus. Le diamètre antéro-postérieur du *corps* de la vertèbre est assez grand, quoique le corps ne soit pas distinct, puisqu'il mesure jusqu'à trois centimètres.

Le trou rachidien est proportionnellement petit; son diamètre transversal ne dépasse guère la largeur d'une des facettes articulaires antérieures. Il a la forme d'un huit de chiffre. Au milieu, où il est le plus étroit, il mesure trente-cinq millimètres.

L'arc supérieur est fort mince et délicat; il ne présente aucune éminence pour rappeler l'apophyse épineuse supérieure.

Les surfaces articulaires ou les facettes antérieures sont fort grandes; mais elles ne se confondent pas en dessous, comme on le voit, par exemple, dans l'atlas des zeuglodons d'Amérique.

Elles sont séparées l'une de l'autre par une surface d'un centimètre de largeur dans le point où elles sont le plus rapprochées. Ces facettes sont peu profondes ou peu excavées, et les condyles de l'occipital sont donc peu saillants.

La disposition des condyles articulaires de l'atlas de Salles correspond parfaitement avec les condyles occipitaux de la tête de Barie, décrite par M. Jourdan.

Les facettes articulaires postérieures, qui s'articulent avec la face antérieure de l'axis, sont plus grandes encore que les précédentes, ou occupent au moins une plus grande surface, puisque ces facettes se confondent en dessous sur le *corps* de la vertèbre.

Les apophyses transverses sont massives, de forme triangulaire, fort larges à la base et peu proéminentes. Ces apophyses sont bien conservées dans l'atlas que nous décrivons.

Ces apophyses, pas plus que l'arc supérieur, ne sont percées pour le passage de l'artère vertébrale; celle-ci est logée dans une gouttière parfaitement

distincte, immédiatement au-dessus et en avant des facettes articulaires antérieures.

Sauf quelques caractères d'une importance secondaire, il est évident que cet atlas offre une grande analogie avec l'atlas de zeuglodon que Joh. Müller a décrit et figuré dans son grand travail sur les zeuglodontes d'Amérique. L'atlas de ces derniers est seulement plus large, mais ce qui est important, c'est que le trou rachidien en dessous est tout à fait semblable dans les deux vertèbres.

Depuis longtemps on a trouvé, à Léognan, des maxillaires inférieurs remarquables par leurs nombreuses dents et la longueur de leur symphyse; mais comme les couronnes des dents étaient toutes brisées, on ne songeait pas à les rapporter au squalodon.

Nous croyons que les deux maxillaires inférieurs, attribués au *Delphinus macrogenius* et au *Delphinus bordeae*[1] et que Pedroni a rapportés aux squalodons, proviennent réellement de ces singuliers carnassiers. Je regrette beaucoup de ne pouvoir fouiller les alvéoles, afin de déterminer le nombre exact de dents. Le moule en plâtre indique bien les incisives, les canines, les prémolaires, mais il reste du doute sur les molaires véritables. On dirait que ces dents se répartissent ainsi :

$$\text{Incisives } \frac{-}{3}\text{; canines } \frac{-}{1}\text{; prémolaires } \frac{-}{6}\text{; molaires } \frac{-}{5}.$$

Indépendamment des dents molaires, la hauteur des maxillaires en arrière, surtout de l'apophyse coronoïde, ainsi que la longueur extraordinaire de la symphyse, parlent en faveur de cette détermination.

Les deux fragments de mâchoire inférieure du musée de Dax, que Cuvier a figurés dans ses recherches sur les ossements fossiles, comme le fragment déposé au Muséum de Paris, qu'il a également décrit et figuré, ne sont pas sans ressemblance avec les squalodons, mais M. Gervais fait remarquer, avec raison, que les dents n'y étant que d'une seule sorte, ces fragments ne peuvent provenir de squalodon [2].

[1] Gervais, pl. XLI, fig. 7-8.

[2] Cuvier, tome V, 1re partie, pl. XXIII, fig. 1-5. Idem, fig. 9-11. Gervais, *Paléontologie*, pl. XLI, fig. 6.

Les deux dents décrites par M. Gervais sont également très-intéressantes. La première fait partie de la collection de la Faculté des sciences de Montpellier. Elle était mêlée à des dents de squales, recueillies à Saint-Jean-de-Vedas, et mon ami Gervais a bien voulu me la communiquer. La seconde [1] a été remise par les ouvriers qui exploitent ces carrières.

Cette première molaire diffère notablement de toutes les autres par cette espèce de contre-fort que l'on voit à sa surface externe, par son bord uni en avant, la courbure de sa couronne et la disposition en étage de ses cinq œillets; c'est une molaire antérieure, la deuxième ou la troisième de gauche, dont la racine est sans doute bilobée seulement vers le bout.

L'autre molaire, plus petite, a son bord antérieur complétement usé, avec trois œillets sur son bord postérieur; c'est probablement une des dernières molaires [2].

Squalodon de Lintz.

La tête de squalodon, trouvée dans la molasse du bassin de Lintz [3], est assez complète pour juger de ses principaux caractères. Il est vrai, le crâne a été brisé en divers endroits, mais les fragments ont été recueillis avec assez de soin pour le reconstruire.

Ce qui frappe d'abord en voyant cette tête, c'est le peu de capacité de la boîte crânienne et la forme massive de la portion du temporal, qui forme l'arcade zygomatique.

Le crâne est fort large en arrière, la portion du rostre, qui est conservée, est au contraire assez étroite en avant, de manière que la tête, en se rétrécissant insensiblement d'arrière en avant, surtout à la hauteur des orbites, prend la forme d'un triangle isocèle, et diffère, sous ce rapport, complétement de tous les mammifères aquatiques connus.

[1] *Ann. sc. nat.*, 3e série, vol. V, page 268. *Paléontologie française*, pl. VIII, fig. 11 et 12.

[2] Nous avons vu à Paris, au mois de septembre dernier, entre les mains de M. Gervais deux autres fragments de squalodon, recueillis, si nous ne nous trompons, dans les environs de Montpellier. L'un de ces fragments est le bout antérieur d'un maxillaire inférieur. (Louvain, 25 février 1865.)

[3] Pl. II, fig. 1 et 2.

Le bout du rostre, qui porte les prémolaires et les incisives, est perdu. Nous avons déjà fait remarquer que ce rostre est brisé au même endroit que celui de Léognan.

La gouttière, qui est occupée pendant la vie par une portion du vomer cartilagineux, est fort large et s'étend dans toute la longueur de la portion conservée.

Les évents ne sont pas complets. Les parois postérieures et latérales ont disparu. A en juger par les parois antérieures, qui sont fort bien conservées, la direction des évents est fort oblique, contrairement à ce que nous montre le *Squalodon* de Barie : l'angle formé par l'axe des évents et de la gouttière vomérienne est fort aigu dans la tête de Lintz, tandis qu'il est droit dans le *Squalodon* de Barie.

En effet, l'ethmoïde et le vomer, que l'on distingue fort bien, au lieu de montrer un passage direct de bas en haut, s'élève obliquement d'arrière en avant, et sur le trajet on voit même, sur les parois en avant, une espèce de cul-de-sac qui devrait nécessairement gêner la sortie, si tant est que c'est une colonne d'eau et non de l'air humide qui sort par les narines.

Il n'existe malheureusement pas de traces des os propres du nez.

Les os maxillaires sont fort larges en arrière et c'est à peine si, à la base du rostre, on aperçoit une échancrure à la limite antérieure de l'os frontal. Cette échancrure est cependant bien indiquée dans le *Squalodon* de Barie et même dans les dauphins en général.

Le palais forme en arrière une très-forte voûte ou saillie sur la ligne médiane, et les os palatins sont disposés comme dans les véritables cétacés souffleurs. Ils forment l'entrée des fosses nasales, et tout est disposé de manière à permettre au sommet de la pyramide laryngienne de s'engager dans leur intérieur.

Les deux os temporaux sont conservés, mais un seul était attaché encore au crâne. Ces os sont fort massifs, surtout la portion qui forme l'arcade zygomatique. La fosse temporale est excessivement grande, ce qui est en rapport avec les exigences musculaires. On sait que cette fosse est relativement faible dans les cétacés vivants. En regardant la tête de haut en bas, on voit

un espace assez grand entre le bord postérieur du frontal et la partie principale du temporal.

Nous avons vu en outre cinq ou six vertèbres, dont une cervicale et une ou deux dorsales.

Il existe encore au musée de Lintz un crâne presque complet d'un animal qui est loin d'être adulte, puisqu'une partie de la boîte crânienne, en arrière et sur la ligne médiane, ne semble pas avoir été ossifiée [1].

Ce crâne curieux sort de la même molasse que la tête dont nous venons de parler.

Les os sont assez minces et délicats; ils tenaient fort peu ensemble lorsqu'ils ont été déterrés, de manière que, pour assurer leur conservation, on a dû les imprégner de colle. D'où il résulte que l'on n'est pas complétement rassuré sur la forme réelle de ce crâne, et, en second lieu, certaines dispositions pourraient bien être le résultat d'un agencement incorrect. Tous les os sont couverts d'une couche de grains de sable de la molasse, de manière que la surface osseuse même n'est pas distincte.

Ce crâne, tel qu'il est, se distingue par sa grande dépression, qui le fait ressembler plutôt à un crâne de batracien qu'à un mammifère. On voit distinctement les deux condyles occipitaux, dont un est fort bien conservé; la cavité glénoïde est plane, comme dans les souffleurs, et la surface inférieure du frontal qui forme la voûte de l'orbite semble indiquer nettement que la fosse orbitaire était ouverte en dessous comme dans tous les vrais cétacés. Ces deux os frontaux s'allongent obliquement en avant et en dehors, laissant derrière eux une large fosse temporale, rappelant assez bien la singulière conformation crânienne des zeuglodons.

Tout bien considéré, ce crâne doit être attribué à un jeune animal, et tout nous porte à le considérer comme le jeune âge du squalodon.

Les dents du *Squalodon* de Lintz sont fort instructives. On en connaît six en place dans le maxillaire, et toutes sont à double racine [2]. La dent de transition n'est distincte que par son alvéole. C'est exactement ce que nous voyons dans le *Squalodon* de Barie. Seulement, au lieu de cinq dents

[1] Pl. II, fig. 4, et pl. III, fig. 1.

[2] *Ib.*, fig. 2 et 3.

molaires complètes il n'y en a que deux entières dans la tête de Lintz.

Ces deux dents entières sont les dernières et ont à peu près la même grandeur. Elles sont même, contrairement à ce que l'on voit chez les autres squalodons, un peu plus écartées que les précédentes.

Elles ont été figurées par J. Müller dans son travail sur les zeuglodontes, pl. XXIII, fig. 7.

Leur pointe est usée et le bord antérieur, comme le bord postérieur, porte trois dentelures également bien développées. Dans toutes les autres molaires, le bord postérieur seul est franchement dentelé.

Nous ferons remarquer en même temps que la pointe des dentelures antérieures est usée dans ces deux dernières dents, tandis que les pointes des dentelures postérieures ont leurs bords complets.

Ainsi, la symétrie des dentelures sur les deux tranchants et leur usure en avant seulement distinguent particulièrement le *Squalodon* de Lintz.

Outre ces deux dents en place et les trois molaires brisées, nous avons vu encore deux prémolaires caniniformes et une molaire de transition, qui

Dent molaire de transition.

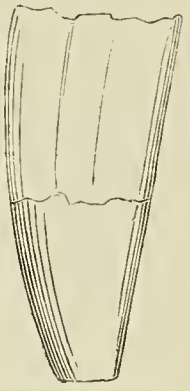
est fort intéressante. La couronne est entièrement comprimée de dehors en dedans comme dans les vraies molaires; elle est en forme de fer de lance, mais son bord postérieur seul porte des traces de crénelures. Tout près du collet, on voit en effet deux petits tubercules qui peuvent aisément échapper à un examen un peu superficiel, tandis que le bord opposé n'en porte aucune trace. Toute la surface de la couronne est finement striée et couverte d'une épaisse couche d'émail. La racine de cette dent est brisée, mais, à en juger par la couronne, cette racine, sans être double, est également aplatie. C'est une dent de transition, c'est-à-dire la cinquième molaire ou la neuvième en rang.

La couronne est longue de 20 millimètres, large de 16 millimètres.

Les deux autres dents sont des prémolaires : la première, la plus petite, a également perdu sa racine et la pointe de la couronne est fortement usée. Toute la surface est de même finement striée. Une faible bordure non crénelée indique le bord antérieur et postérieur. C'est une des premières dents d'un animal d'assez petite taille, comme la molaire de transition que nous décrivons plus haut.

Une prémolaire.

La troisième dent provient d'un animal beaucoup plus fort. Elle est caniniforme comme la précédente, à une seule racine par conséquent, à surface lisse et luisante, sans bourrelets distincts sur ses bords.



Une dent prémolaire.

Ces dents sont également conservées au *Vaderlands Museum* de Lintz, mais elles n'étaient pas inscrites comme dents de squalodon.

Squalodon de Barie.

Une des plus belles découvertes paléontologiques faites dans ces dernières années est sans contredit celle d'une tête assez complète de squalodon, qui

a pu être dégagée d'un bloc de calcaire marin provenant des carrières de Barie.

Cette découverte nous paraît aussi importante que celle du rostre signalé en 1840 par le docteur Grateloup, puisqu'elle permet de décider la question véritablement douteuse de la nature de ces cétacés. Cette tête heureusement est complète, sauf le bout du rostre que nous avons, par un heureux hasard, retrouvé.

Cette tête, comparée aux cétacés ordinaires, se fait remarquer surtout par le peu d'élévation du crâne; il est fortement déprimé, et la base du rostre est presque aussi élevée que la région frontale. La tête, vue de profil, forme une ligne très-légèrement courbée, à peine moins élevée à la base du rostre qu'au sommet du crâne. Elle est ensuite non moins remarquable par la grande élévation du maxillaire inférieur, surtout de l'apophyse coronoïde, qui est en rapport avec la grande capacité de la fosse temporale. Nous pouvons faire remarquer en même temps que la surface du condyle est proportionnellement plus grande que dans les autres cétacés, en même temps que la cavité glénoïde est d'une solidité extraordinaire. Toute cette région indique donc une puissance de mastication beaucoup plus grande que celle que l'on observe en général dans les cétacés. C'est, du reste, une disposition que nous avions déjà remarquée dans la tête de Lintz.

Pour le reste, les os du crâne et de la face se comportent comme dans les cétacés véritables.

Les os propres du nez sont refoulés en os compactes au-dessus des évents; les intermaxillaires s'étendent depuis le bout du museau, en formant à eux seuls toute l'extrémité libre du rostre, jusqu'à la hauteur des os nasaux; les maxillaires recouvrent en arrière les os frontaux et s'étendent jusqu'au sommet de la tête. C'est peut-être ce qu'il y a de plus *souffleur* dans ce crâne. Les os frontaux sont fort épais au-dessus des orbites, tandis que l'os jugal est extrêmement délicat. L'occipital, au lieu d'être bombé, comme dans les cétacés ordinaires, est aplati en arrière, s'élève obliquement jusqu'au sommet de la tête et forme au-dessus, comme sur le côté, une crête qui limite parfaitement la région de l'occiput. Aussi la tête, vue en arrière, est remarquable par l'étroitesse de l'occipital, qui n'est pas compensée par la hauteur ainsi que

par l'étendue des fosses temporales qu'on distingue parfaitement de ce côté.

Les caisses du tympan sont en place et, autant que nous pouvons en juger par le dessin, ces os ressemblent à ceux du zeuglodon.

Il y a cinq dents molaires en place à la mâchoire supérieure et trois à la mâchoire inférieure. L'antérieure est la plus forte. Elles perdent, du reste, très-peu en volume d'avant en arrière, et se rapprochent de manière que les deux dernières se touchent au sortir de leurs alvéoles. Les trois molaires antérieures portent des traces de cette espèce de contre-fort, qui caractérise une des dents décrite par Gervais.

Les trois molaires inférieures diminuent aussi légèrement en volume d'avant en arrière et, entre les deux dernières dents supérieures, il n'en correspond pas à la mâchoire inférieure.

Outre les molaires encore en place, c'est-à-dire cinq supérieures et trois inférieures, il y a encore une molaire libre et trois dents caniniformes qui ne peuvent être que des prémolaires. La molaire est, à en juger par la taille, celle qui précède les trois molaires inférieures.

M. Jourdan a cru que le bout du rostre brisé de la tête de Barie avait été pulvérisé, et que ce fragment important était perdu pour la science. Heureusement il n'en est pas ainsi. M. Paul Gervais a reçu de M. Matheron, de Marseille, le fragment de la tête que l'on pouvait croire perdu, et il en a donné une description dans une lettre qu'il m'a adressée [1].

Cette pièce intéressante, que M. Paul Gervais a bien voulu me communiquer, comprend le bout libre du maxillaire inférieur et de l'os incisif. Les dents sont encore dans leur situation respective.

Il y en a deux au-dessus et deux en dessous, placées dans l'axe du corps, qui dépassaient sans doute les lèvres et servaient de défense. La couronne en est très-irrégulièrement usée, à l'exception de celle de gauche en dessous. Cette couronne, qui est restée intacte, montre que ces premières dents n'ont pas la même courbure que les autres.

En haut, de chaque côté, on voit encore une dent incisive en place et l'alvéole de la troisième dent du même nom. Inférieurement, il existe à droite deux incisives encore en place, et une à gauche.

[1] *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, t. XIII, n° 5.

Nous trouvons donc en somme six incisives au-dessus de chaque côté et six en dessous, dont les deux antérieures des deux côtés sont droites et à couronne un peu plus longue.

Le bout du rostre s'est brisé au point de jonction du maxillaire et de l'intermaxillaire, et la dent libre, qui est jointe à la tête de Barie, est probablement une canine supérieure encore en place.

M. Jourdan, parlant des deux gouttières des évents, qui sont en communication avec le canal intermaxillaire, se demande si ce canal remplace les fosses nasales ou si les deux gouttières sont seulement destinées à loger une membrane pituitaire ou olfactive plus considérable. Ces gouttières et ce canal intermaxillaire n'existent pas chez l'animal en chair; toutes ces cavités sont remplies de cartilage et de graisse. Les fosses nasales s'élèvent perpendiculairement ou un peu obliquement, et sur leur trajet on ne voit aucune anfractuosité qui puisse mettre cette cavité en communication avec le canal intermaxillaire.

Squalodon de Gueldre.

Déjà, en 1837, on avait trouvé dans les environs de Eibergen (Gueldre, Pays-Bas) des dents molaires et des vertèbres de squalodons, et une de ces molaires avait été montrée à R. Owen, qui l'avait reconnue comme provenant d'un animal représentant les zeuglodons en Europe.

M. Staring a figuré une dent molaire et une dent caniniforme, appartenant à la collection du pavillon de Haarlem, qui proviennent réellement du squalodon; il n'en est pas de même des vertèbres qui ont été attribuées au même animal.

M. Staring fait remarquer, avec beaucoup de raison, qu'il existe une différence notable pour la taille entre l'animal qui a fourni les dents et celui qui a fourni les vertèbres. Les vertèbres doivent être rapportées à deux espèces de dauphins, et les phalanges qui sont conservées au même pavillon sont, si nous ne nous trompons, des phalanges de phoque.

La dent molaire figurée par M. Staring [1] est une molaire de droite d'un

[1] Staring, *Bodem van Nederland*, II, page 216, pl. III, fig. 3 et 4.

animal de petite taille, et dont les bords sont fort intéressants. Elle provient de l'argile, près de Swilbroek (Gueldre). Un de ces bords est complétement usé dans la longueur, de manière que les deux lèvres d'émail sont écartées, et ne se joignent ni au collet ni à la pointe. L'autre bord, le postérieur, présente au contraire trois dentelures beaucoup plus prononcées que celles qui s'observent sur nos dents d'Anvers.

Nous avons reconnu encore deux racines de dents de squalodon dans les dessins que nous devons à l'obligeance extrême de M. le professeur Van Breda. Le savant directeur a bien voulu, sur notre invitation, faire dessiner les pièces principales du musée de Haarlem, qui se rapportent aux cétacés. Il est probable que ces dents ont été également trouvées en Gueldre [1].

Les trois dents figurées par Scilla, et qui sont heureusement conservées à Cambridge, sont remarquables sous plusieurs rapports. Elles méritent d'être comparées avec soin.

La couronne d'abord est comparativement plus large à la base que dans les squalodons, et les crénelures, généralement différentes sur les bords antérieurs et postérieurs, sont à peu près semblables. Mais ce qui caractérise surtout ces dents, ce sont les racines : elles ne sont ni aussi longues ni aussi inégalement développées, et, au lieu de se replier dans le même sens, elles ont leur pointe dirigée l'une vers l'autre.

On ne voit non plus aucune trace d'usure aux dentelures.

Il est évident que ces dents semblent indiquer un animal plus voisin des phoques et, à notre avis, le nom de phocodon, proposé par Agassiz, doit leur rester au moins provisoirement.

[1] Nous avons reconnu dans le cabinet de M. Bosquet, à Maestricht, une dent de squalodon à une racine et un fragment de couronne, d'une dent à deux racines, provenant de Elsloo, à trois lieues en aval de Maestricht. Avec ces débris de squalodon se trouvaient des dents et un fragment de maxillaire inférieur de dauphin. (Louvain, 25 février 1865.)

IV.

SYSTÉMATISATION.

Il y peu d'animaux dont les affinités ont été si diversement appréciées. D'abord les *Squalodons* et les *Zeuglodons* sont-ils aussi rapprochés les uns des autres que certains auteurs le prétendent? Ces animaux ont-ils des narines ordinaires vers le milieu ou au bout du museau, comme les siréniens et les phoques, ou bien ont-ils des évents comme les cétacés véritables? Ont-ils une ou deux paires de membres? Ces membres ont-ils les doigts simplement palmés comme les phoques ou ont-ils toutes les parties soudées comme des nageoires de dauphin? Enfin sont-ils phoques ou cétacés, ou bien occupent-ils une place à part? Depuis longtemps on sait d'une manière certaine qu'ils appartiennent à la classe des mammifères.

Voyons les diverses opinions qui ont été exprimées au sujet de leurs affinités. Quelques-unes des questions posées sont définitivement résolues; d'autres attendent leur solution.

Le premier qui a reconnu la nature véritable des zeuglodons, R. Owen, considérait les squalodons comme des zeuglodons européens, et ces deux animaux étaient, à ses yeux, si voisins les uns des autres, qu'ils devaient même ne former qu'un seul et unique genre. C'est l'opinion que l'illustre naturaliste du *British Museum* exprimait encore après avoir vu et examiné en nature les dents de véritable squalodon. Les squalodons ne sont que des zeuglodons de petite taille; ce sont des mammifères qui forment un groupe à part entre les siréniens et les cétacés, disait-il [1].

Nous verrons plus loin que c'est aussi l'avis de M. Pictet, de Genève, un des plus savants paléontologues de l'époque.

[1] *Paléontologie*, 2me édit., 1861, page 378.

C'est en 1847 [1] que H. von Meyer exprima la pensée de faire une famille à part parmi les cétacés, avec les squalodons d'Europe et les zeüglodons d'Amérique :

Die Aehnlichkeit des Zeuglodon mit den Squalodon veranlasst mich nunmehr beide Thiere in einer erloschenen Cetaceen-Familie der Zeuglodonten zu vereinigen.

Les affinités des zeuglodons avec les squalodons me portent à réunir ces animaux perdus dans une seule famille, celle des *zeuglodontes*. Les zeuglodontes ne sont pas sans affinité, d'après lui, avec les siréniens ou les cétacés herbivores. C'est l'étude de la tête du jeune *Squalodon* de Lintz qui l'avait conduit à ce résultat.

Dans un travail sur le zeuglodon, un naturaliste américain, M. Gibbes, va plus loin et admet le squalodon comme spécifiquement identique avec le zeuglodon : *Since i have seen Grateloup's description of Squalodon and his figure, i suspect the two may even prove specifically identical*, dit-il. Depuis que j'ai vu la description du *Squalodon* de Grateloup et la figure, je pense que les deux sont spécifiquement identiques.

Dans un ouvrage général de *Paléontologie*, M. Giebel exprima, la même année 1847, une opinion bien différente sur cette affinité [2]. Les zeuglodons iraient prendre place, d'après lui, à côté des *Dinotherium* et des *Toxodon*, dans une même famille qui occupe le premier rang dans l'ordre des phoques.

Alb. Koch, après son troisième voyage aux États-Unis, pour y recueillir des ossements de zeuglodon, place ces animaux entre les cétacés et les phoques.

Koch admet trois genres dans ce groupe : le *Zeuglodon* de l'Éocène du nord de l'Amérique; le *Squalodon* de la molasse et du Miocène, à Malte, à Bordeaux et à Lintz, et le *Balœnodon* du crag de Suffolk et la molasse de Lintz [3].

Ce dernier genre est imaginaire, et le savant illustre qui a proposé ce nom de *Balœnodon*, dont les racines jurent de se trouver ensemble, ne sau-

[1] *Jahrbuch*, page 670.

[2] *Fauna der Vorwelt*, 1847, page 220.

[3] *Das Skelet der Zeuglodon macrospondylus*, novembre 1850.

rait guère dire lui-même quel genre d'animal il a entendu désigner sous ce singulier nom.

Le nom de *Balœnodon* a été proposé d'abord pour désigner un animal auquel on rapportait une dent singulière, trouvée dans le crag, qui n'est pas autre chose qu'une dent de cétacé ziphioïde. Plus tard, ce nom de *Balœnodon* a été transporté à des os tympaniques qui appartiennent à des cétacés à fanons, et, ce qui a mis ensuite le comble à cette confusion, c'est qu'on a donné le même nom générique à une tête de cétacé trouvée à Lintz, qui n'a rien de commun avec les cétacés trouvés en Angleterre.

Joh. Müller, en publiant son grand et beau travail sur les ossements de zeuglodon, que le roi de Prusse venait d'acheter pour le musée de l'Université de Berlin, va plus loin, et croit devoir réunir, dans un seul et même genre, les *Zeuglodons* d'Amérique avec les *Squalodons* d'Europe. Après avoir fait l'historique et l'énumération des zeuglodons trouvés en Amérique, il consacre un chapitre à part à ceux d'Europe.

Les évents des zeuglodons ne sont pas disposés, ajoute-t-il, comme dans les Baleines, et les fosses nasales ne sont aucunement placées dans une direction verticale.

L'ostéologie de la tête montre des caractères de phoques et de cétacés, et les dents rappellent les premiers par leur nombre, les derniers par leur forme.

J. Müller attache une grande importance au caractère lamelleux des os de zeuglodon; la surface lamelleuse des os est caractéristique des zeuglodons, ajoute-t-il, et on pourrait prendre aisément pour naturelle, une surface osseuse qui a perdu toute une série de lamelles. Ce caractère fait cependant défaut dans le squalodon.

J. Müller ne met pas en doute que les dents figurées par Scilla ne soient des dents de zeuglodon : *Ueber die generische Identität des Zeuglodon und der Zähne bei Scilla, hegte ich keinen Zweifel,* dit-il. Sur l'identité générique des zeuglodons et les dents figurées par Scilla, je ne fais aucun doute.

A diverses reprises nous avons nous-même émis notre opinion au sujet de ces affinités, et cette opinion n'a pas toujours été la même. Ne voyant pas de narines de souffleurs dans les zeuglodons, nous pensions qu'il devait en

être de même dans les squalodons, et les affinités avec les phoques ne me paraissaient pas douteuses. Les derniers sont bien positivement souffleurs, et s'ils s'éloignent par les narines, ils restent voisins par la forme des vertèbres comme par les caractères des dents.

M. Staring est aussi d'avis que le squalodon a de grandes affinités avec les dauphins, mais qu'il se rapproche des phoques tant par la conformation de ses pattes que par la disposition de ses fosses nasales : *De Squalodon is een dier, dat met de Dolphynen veel overeenkomst bezit, maer door zyne tanden, het gemis van blaasgat, en de* niet als vinnen *gevormde voorpooten, meer met de robben overeenstemt* [1]. Le squalodon est un animal qui a beaucoup de ressemblance avec les dauphins, mais, par ses dents, l'absence d'évents et les pattes antérieures qui ne sont pas en nageoires, il se rapproche plus des phoques.

Mon savant ami, Paul Gervais, a toujours partagé l'avis que les squalodons sont des cétacés plutôt que des phoques. Avant de changer d'avis, dit-il dans la lettre qu'il m'adresse au sujet du squalodon, je veux laisser aux faits le temps de se produire [2].

Ce que dit M. Jourdan des *évents* ou *canaux respirateurs* et de leur ouverture supérieure, très-allongée d'arrière en avant, communiquant par une double gouttière avec le canal intermaxillaire, plus large et plus régulièrement établi que dans les autres dauphins, pourrait induire les zoologistes en erreur. — Ce canal intermaxillaire se retrouve dans tous les vrais cétacés, et loge ordinairement un long cordon cartilagineux qui représente en avant la partie terminale de la colonne vertébrale.

M. Jourdan met les squalodons, malgré cette disposition qu'il semble croire exceptionnelle, à la tête des Dauphins, et il place les zeuglodons parmi les phoques. Ainsi tombe cet ordre des zeuglodons, introduit nouvellement dans la classe des mammifères, ajoute-t-il. M. Pictet avait admis l'ordre des zeuglodontes, formé des zeuglodons, des squalodons et des balænodons, entre les sirénoïdes et les cétacés [3].

[1] *Loc. citat.*, p. 3.

[2] *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, t. XIII.

[3] *Traité de Paléontologie*. Paris, 1853, vol. 1, p. 575.

La grande question, question qui prime toutes les autres, c'est de savoir si les zeuglodons et les squalodons ont entre eux autant d'affinités qu'on l'a cru; ensuite, s'ils sont les uns et les autres, souffleurs, siréniens, ou phoques, ou s'il existe des différences essentielles dans leur appareil respiratoire, tout en montrant une analogie complète dans le système dentaire.

N'y aurait-il pas, conformément au principe *natura non facit saltus*, une transition des souffleurs aux cétacés herbivores, et ne se pourrait-il pas que, dans la nature vivante, en y regardant de près, cette différence ne fût pas aussi nettement tranchée qu'on le pense généralement? Comparons les zeuglodons avec les squalodons.

Il existe, sans aucun doute, des différences entre eux, et ces différences portent particulièrement sur la disposition des narines ou des évents, le nombre et l'arrangement des dents.

Les évents des squalodons sont évidemment ceux des cétacés; ils s'élèvent aussi perpendiculairement que dans aucun autre souffleur, au point que l'on voit à travers le rostre quand la tête est en place et qu'on la regarde de haut en bas. Les os propres du nez sont complétement refoulés en haut. La tête du zeuglodon, du moins celle qui est aujourd'hui au musée de Haarlem, comme celle qui a été figurée par Koch en novembre 1850, montre au contraire les os propres du nez fort allongés, aplatis, formant la voûte des narines comme dans les phoques ou les mammifères non souffleurs.

Cette disposition éloigne, à notre avis, ces deux genres fort loin l'un de l'autre, si on voulait les répartir, d'après leurs caractères, dans les ordres tels qu'ils sont établis.

Les dents ont plus d'analogie et diffèrent principalement par leur nombre; ils ont les uns et les autres six incisives de chaque côté, mais la paire antérieure est placée dans l'axe du corps chez les squalodons, tandis que les zeuglodons ont les deux dents antérieures fortement recourbées, et semblables à des crochets comme les autres incisives.

Les zeuglodons, en prenant, comme on doit le faire, la première dent du maxillaire pour une canine, ont toutes leurs molaires, celles de dessus comme celles de dessous, à double racine et sont crénelées à leurs couronnes. Les squalodons ont d'abord trois ou quatre molaires caniniformes et à une seule racine, semblables pour la forme à la dent canine.

Nous sommes loin de croire que tous les ossements et dents que l'on a rapportés à trois espèces de zeuglodons appartiennent réellement à ces espèces. Des différences aussi grandes que celles que l'on voit entre les vertèbres de la même région nous semblent plutôt indiquer qu'il y a là, aux États-Unis, un mélange d'ossements comme à Anvers, que des observateurs patients, et travaillant sur place, pourront seuls déterminer.

Quoi qu'il en soit, à côté de ces dents molaires caniniformes, les squalodons ont jusqu'à sept dents légèrement espacées, didymes et à couronne crénelée. Ce qui fait, de chaque côté, cinq molaires à couronne crénelée de moins dans les zeuglodons que dans les squalodons.

Si donc nous voyons des incisives semblables pour le nombre, il faudrait supprimer d'abord les molaires caniniformes, puis deux molaires véritables, dans les squalodons, pour rapprocher leur système dentaire de celui des zeuglodons.

Il y a peut-être lieu de faire remarquer ici que les dernières vertèbres caudales du squalodon étant très-volumineuses, il n'existe sous ce rapport pas plus d'affinité avec les phoques qu'avec les siréniens ou les souffleurs. Dans tous ces groupes, les dernières vertèbres s'amoindrissent lentement, et la dernière conserve à peine son cachet propre.

Plusieurs questions surgissent au sujet des affinités de ces genres. Les zeuglodons, dont les narines sont semblables à celles des siréniens ou des phoques, doivent-ils prendre place à côté des squalodons dont les narines sont des évents de vrais souffleurs? Ne faut-il pas placer les uns parmi les sirénoïdes ou les phoques, les autres parmi les souffleurs?

Cette question est subordonnée à une autre. La disposition des narines prime-t-elle les autres caractères, même ceux tirés du système dentaire? Nous ne le pensons pas. Depuis qu'il est reconnu que les cétacés souffleurs ne lancent, par les évents, pas plus de colonnes d'eau que les autres mammifères, que ces prétendues colonnes ne sont que l'air humide expiré, ces distinctions ont perdu de leur importance. Le souffleur est un animal pélagique, l'autre un animal littoral; le premier a les narines placées le plus haut possible à la base du crâne, l'autre vers le bout du museau, au milieu du chanfrein, ce qui est parfaitement indifférent à l'animal. Les zeuglodons,

malgré leur taille, seraient donc des carnassiers littoraux, comme les siréniens des herbivores littoraux, et les squalodons seraient des carnassiers pélagiques.

Ces animaux, par leur système dentaire, peuvent fort bien former un ordre distinct dans les thalassothériens, à côté des cétacés proprement dits.

Nous ne suivrons donc pas les erremens des zoologistes : au lieu de séparer ces carnassiers, en plaçant les uns parmi les phoques et les autres parmi les souffleurs, nous les réunissons dans un seul groupe parallèle aux siréniens et aux cétodontes.

Nous admettons donc les

ZEUGLODONTES

comme groupe à part, caractérisé par un corps semblable à celui des souffleurs, mais dont les dents molaires, au moins les dernières, sont à double racine et à couronne crénelée.

Si les déterminations des terrains sont exactes, nous voyons les premiers apparaître en Amérique, dans l'Éocène, les *Squalodons* du Midi vivre dans le Miocène, et ceux du Nord (Anvers, Gueldre) surgir et s'éteindre dans le Pliocène, c'est-à-dire qu'ils parcourent les trois grandes périodes de l'époque tertiaire, puis disparaissent de la scène du monde.

Dans l'Éocène, les vertèbres sont encore en partie cartilagineuses et la taille est démésurément grande; ils ne sont pas souffleurs, et leurs membres se rapprochent de ceux des phoques et des siréniens. Dans les couches Miocène, ce sont de vrais souffleurs comme plus tard dans le Pliocène, avec les vertèbres et les membres de vrais cétacés souffleurs.

Si nous ne nous trompons au sujet des affinités des squalodons et des zeuglodons, ces observations viendraient donc confirmer le principe reconnu par quelques paléontologistes, que certains animaux des couches paléozoïques de l'Amérique du Nord ont paru dans le nouveau monde, plutôt que dans les mêmes couches en Europe.

Genre SQUALODON, *Grateloup.*

Synonimie : Crenidelphinus, Laureillard, *Dictionnaire universel d'histoire naturelle*, vol. IV, article Dauphin.

Delphinoïdes, Pedroni, *Actes de la Société linnéenne de Bordeaux*, t. XIV, 1845.

Phocodon, Agassiz, *Répertoire d'anatomie et de physiologie de Valentin*, 1855.

Chamsodelphis, Gervais, *Zoologie et paléontologie franç.*, pl. XLI, fig. 6-8.

Rhizoprion, Jourdan, *Comptes rendus de l'Académie de sciences de Paris*, t. LIII. 1861, p. 959.

Quelques auteurs ont pensé, avons-nous vu, que les zeuglodons d'Amérique devaient être réunis génériquement aux squalodons d'Europe. Nous ne le pensons pas, et nous avons pour cela de fort bons motifs : la conformation du crâne est si complétement différente, que les premiers sont plutôt des phoques que des souffleurs, tandis que les squalodons sont des souffleurs véritables.

Ces noms nouveaux ont été successivement substitués aux anciens sous le prétexte, comme on le pense bien, que le nouveau est plus convenable? Serait-ce impossible de trouver aujourd'hui un meilleur nom que celui de *Rhizoprion?*

Nous ne trouvons aucun motif pour ne pas lui conserver le premier nom de *Squalodon*, qui a été proposé par Grateloup, et qui doit, à notre avis, être respecté; non pas qu'il faille toujours conserver le nom le plus ancien, comme on l'a proposé; mais quand aucune pièce n'est conservée et que l'auteur lui-même serait dans l'embarras sur l'application du nom qu'il a proposé lui-même, il nous semble, mais dans ce cas seulement, qu'il est préférable de prendre le nom de celui qui a le premier bien connu l'objet. Pourquoi, par exemple, conserver les noms spécifiques des baleines proposés par Linné, lui qui ne les a connues que d'après des renseignements vagues et souvent erronés. Linné lui-même serait dans l'impossibilité aujourd'hui de déterminer les espèces de baleines qu'il a admises dans son *Systema naturae*, et Fabricius a eu le grand tort d'adopter les noms de son maître pour les baleines que lui, le premier, a bien connues. Si le savant pasteur de Groenland avait imposé des noms nouveaux à ces animaux, ces noms eussent à tout jamais été respectés.

Les diverses localités où les débris de squalodon ont été découverts, en Europe, sont par ordre de date :

1° A Malte, dans le miocène. Il paraît que c'est un dépôt du même âge que ceux de Montpellier et de Bordeaux. On ne connaît que trois dents molaires, qui sont déposées aujourd'hui au musée du *Trinity college*, à Cambridge. Elles ont été étudiées par Owen qui, d'après M. Staring, en fit d'abord un jeune hippopotame; puis par M. Agassiz, qui proposa d'établir un nouveau genre sous le nom de *Phocodon*. Le livre de Scilla, *De corporibus marinis*, où ces dents sont figurées, est de 1747.

2° A Léognan (Gironde), près de Bordeaux, le docteur Lavallée a trouvé, dans les couches inférieures du calcaire marin miocène d'après Grateloup, une bonne portion de la tête, c'est-à-dire du maxillaire et de l'intermaxillaire, avec quatre dents molaires en place et deux alvéoles sans dents; un maxillaire inférieur presque complet, mais sans dents, et un atlas des faluns de Salles (miocène) découvert en 1842, se rapportent sans doute au même animal. Ces objets ont été décrits en mai 1840, et sont tous conservés à Bordeaux.

3° A Lintz, dans le bassin de cette ville, à quelques pas seulement de l'enceinte, dans les couches inférieures du sable marin miocène, on a découvert une tête assez complète, c'est-à-dire un crâne avec ses os principaux fortement fracturés, les deux temporaux, la plus grande partie du frontal, les maxillaires et intermaxillaires, l'ethmoïde et le vomer. Il n'y a que deux dents molaires en place, mais on voit sur la même pièce les alvéoles de quatre autres dents à double racine qui les précèdent. Parmi les objets isolés conservés par M. Erhlich, se trouve une prémolaire et deux dents caniniformes, l'une beaucoup plus forte que l'autre, et cette dernière seule finement striée à sa surface. Toutes ont la pointe usée.

En outre, un crâne presque complet d'un jeune individu, qui est ouvert à sa base et au milieu de l'os occipital. Il ne laisse pas de doute sur la conformation de la tête. Ces objets ont été décrits par C. Ehrlich en 1850.

Ces squalodons sont accompagnés, à Lintz, de métaxitherium en grande abondance, et de prétendus *Balœnodons*. A Léognan et à Montpellier, à côté des squaladons il y a également des métaxitherium.

A Darmstadt, il y a des métaxitherium, mais jusqu'à présent pas de squalodons.

A Anvers et en Gueldre il n'y a pas de métaxitherium à côté des squalodons [1].

Par contre, à Anvers, on trouve avec les squalodons de grandes espèces de chélonées, comme on en a trouvé en France avec eux dans la mollasse, et en Amérique avec les zeuglodons.

4° Dans le crag d'Anvers, le crag noir inférieur sous-entendu, on connaît, depuis 1862, d'abord deux fragments de maxillaire supérieur, le bout y compris, portant en avant et encore en place trois dents caniniformes complètes, indépendamment d'une dent plus ou moins droite, placée en avant dans l'axe du corps, et un peu plus forte que les autres. Trois de ces dents sont implantées dans l'os incisif. La canine, qui a la même forme et la même grandeur, est suivie de trois alvéoles qui ont logé des dents semblables à une seule racine. Voilà en tout sept dents à une racine.

Un autre fragment de maxillaire supérieur renferme encore une dent molaire à double racine, et montre en avant comme en arrière l'impression de deux autres dents semblables. Une dent molaire complète, libre, accompagne cette dernière pièce. Ces trois portions sont de gauche.

La même portion de maxillaire supérieur de droite, avec trois dents molaires complètes, mais d'un individu un peu plus fort. Une dent isolée correspondant à ces dernières, mais de gauche.

On a trouvé en outre la partie postérieure du maxillaire supérieur, montrant les alvéoles au nombre de quatre, dont la dernière notablement plus petite que les autres.

Le musée de Bruxelles est également en possession de deux fragments de maxillaire inférieur, l'un de droite, l'autre de gauche, indiquant la partie postérieure de la symphyse, et montrant par ses alvéoles que les molaires à deux racines s'étendent en avant, au delà de la partie postérieure symphysée. Dans la pièce à droite nous reconnaissons six dents, dont la dernière, à en juger par la longueur de ses racines, n'est pas la postérieure. Le frag-

[1] Je crois avoir reconnu ce Sirénien à Elsloo, près de Maestricht, dans le Boldérien; des débris y sont mêlés avec des dents de Squalodon. Louvain, 29 mars 1865.

ment de gauche montre trois alvéoles complètes, une alvéole incomplète d'une dent en avant et d'une autre en arrière. Ce qui fait que nous connaissons six dents molaires du maxillaire inférieur.

Un autre fragment du maxillaire inférieur de gauche forme presque le bout. Il ne montre que des alvéoles, au nombre de quatre, dont la postérieure, plus grande, semble correspondre à la canine inférieure. On voit aussi le bout de la racine de l'incisive antérieure qui, comme celle de dessus, semble avoir une autre direction et un développement plus considérable.

Comme pièce de moindre importance, nous avons à signaler un fragment de maxillaire supérieur qui n'est pas loin de l'orifice des fosses nasales et un fragment de maxillaire inférieur qui a son bord supérieur complet, mais ne montre plus de traces d'alvéoles.

Une première molaire existe au musée Teylerien à Haarlem et une dent caniniforme chez M. Gorissen.

5° Une dent molaire a été trouvée dans la mollasse de Saint-Jean-de-Vedas (Hérault) par Gervais, et dans la *mollasse d'Uzès* (Gard) une autre dent qui a été attribuée d'abord à une Otarie.

6° M. Staring nous apprend que, depuis 1837, on a découvert dans les environs de *Eibergen* (Gueldre) des dents molaires et des vertèbres que l'on avait cru d'abord devoir rapporter au Dugong. On en a même trouvé des débris qui proviennent de différents sujets, au moins de trois qui consistent en dents molaires et canines, vertèbres et fragments de membres; mais on en possède si peu, ajoute M. Staring, qu'il serait difficile de dire quelque chose de général de l'animal. Des os de Dauphins ont été attribués au Squalodon.

Le genre Pachyodon de H. von Meyer est établi sur des dents trouvées à Moeskirch dans le duché de Baden. Agassiz, en citant ce nom, demande si c'est un pinnipède.

7° Dans la couche inférieure du miocène supérieur ou miocène proprement dit, une tête presque complète a été découverte, en 1854, dans les carrières de M. le comte de Bord, à Barie; heureusement le bout du rostre, que l'on croyait perdu, a été retrouvé. Cette tête a été décrite par Jourdan sous le nom générique de Rhizoprion. Elle est déposée au musée de Lyon.

Dans le Bohnerze de la Forêt-Noire, on a également trouvé des dents qui semblent y indiquer la présence de squalodon, si l'on s'en rapporte à une exhi-

bition qui a été faite par M. Alberti, à la réunion des naturalistes à Fribourg.

En comparant ces pièces entre elles, et surtout les dents molaires, nous trouvons des différences assez notables dans ces divers animaux : le *Squalodon* de Lintz a toutes ses dents molaires régulièrement espacées; celui de Bordeaux les a presque toutes rapprochées les unes des autres, tandis que celui d'Anvers a les trois dernières seules sans intervalle. Dans le *Squalodon* de Barie, elles se rapprochent insensiblement d'avant en arrière.

Les couronnes des dernières molaires de l'animal de Lintz sont également fortes; dans l'animal de Bordeaux les cinq dernières molaires diminuent insensiblement de volume d'avant en arrière comme dans celui d'Anvers, mais il existe cette différence entre eux que, si celui d'Anvers a la dernière beaucoup plus petite, celui de Bordeaux, au contraire, a la cinquième notablement plus grande.

Ce que nous disons de la couronne s'applique également aux racines; on peut en juger par les alvéoles. La racine de la dernière molaire est à peine divisée au bout dans le *Squalodon* d'Anvers.

Une étude approfondie de toutes les pièces recueillies nous porte à admettre, indépendamment des fossiles de l'Alabama et des dents molaires de Malte, quatre espèces.

I. Squalodon de Grateloup. — SQALODON GRATELOUPII. *H. von Meyer.*

Synonymie : Squalodon . . . . . gr., *Act. Acad. sc. de Bordeaux*, mai, 1840, t. II, p. 201.
— Grateloupii, H. von Meyer, *Jarhb.*, 1843, p. 704.
Delphinoïdes Grateloupi, Pedroni, *Act. Soc. Linn. de Bordeaux*, t. XIV, p. 105; 1845.
Crenidelphinus, Laurcillard, *Dict. univers. d'hist. nat.*, t. IV, p. 636; 1845.
Squalodon Grateloupii, Gervais, *Ann. des sc. nat.*, 3me série, t. V, p. 265. Paris, 1846.
— — Gervais, *Paléont. franç.*, pl. 8, fig. 12.
Rhizoprion Bariensis, Jourdan, *Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, 25 novembre 1861, p. 959. *Ann. des sc. natur.*, 1861.
Zeuglodon Grateloupi, J. Müller, *Ueber die Zeuglod.*, in-fol. Berlin, 1849.

L'animal singulier trouvé dans les sables de Léognan est généralement connu aujourd'hui sous le nom spécifique de *Squalodon Grateloupii*. Il est à

remarquer que ce nom lui a été donné presque en même temps en Allemagne et en France. En 1843, Herman von Meyer rapporte le squalodon trouvé à Bordeaux et celui que l'on venait de découvrir à Lintz à un seul animal, pour lequel il propose le nom qui est resté au premier [1]. En 1846, M. Paul Gervais propose le même nom pour désigner le fossile de Grateloup [2], ignorant que son confrère de Franckfort l'avait déjà proposé. La priorité appartient au naturaliste allemand, qui a l'avantage de consigner périodiquement dans sa correspondance ses observations et ses idées sur chaque découverte.

Le *Squalodon* de Barie est-il différent de celui de Léognan et la mâchoire inférieure a-t-elle plus de dents dans le premier que dans le second ?

M. Valenciennes, chargé d'examiner une mâchoire inférieure de dauphin fossile, trouvée à Montfort, près de Dax (département des Landes), persiste à penser, dit-il, que sous le nom de *Delphinus macrogenius*, on a réuni deux espèces différentes, qu'une troisième espèce sera le *Delphinus Bordæ*, qui est un squalodon, et qu'une quatrième espèce doit être formée sous le nom de *Delphinus lophogenius* Val. avec la mâchoire inférieure ci-dessus [3].

Quoique nous trouvions des différences dans les dents du squalodon de Bordeaux et celui de Barie, ces différences ne nous semblent pas assez importantes pour séparer ces animaux spécifiquement. Dans celui de Bordeaux les molaires sont un peu plus rapprochées les unes des autres que dans celui de Barie, mais ce qui semble les éloigner davantage l'un de l'autre, c'est que les molaires du dernier sont à peine crénelées sur leur bord antérieur, tandis que dans celui de Bordeaux, comme dans celui de Lintz, les crénelures sont aussi nombreuses en avant qu'en arrière.

Le *Squalodon* de Bordeaux a la cinquième dent molaire, à partir de la dernière, notablement plus forte que les autres, tandis que celui de Barie montre les cinq dernières dents à peu près égales en volume. Sous ce rapport, le *Squalodon* de Bordeaux se rapproche plus de celui d'Anvers que de celui du Midi.

Parmi les débris attribués à divers animaux, et qui proviennent du *Squalodon Grateloupii*, il faut placer :

1° La belle mâchoire inférieure décrite sous le nom de *Delphinus ma-*

[1] *Jahrbuch*, 1843, p. 704.
[2] *Annales des sc. natur.*, 1846, p. 264.
[3] *Comptes rendus*, 1862, p. 788.

crogenius ou *champsodelphis* dans divers auteurs, et que M. Paul Gervais a figurée pl. 41, fig. 7;

2° Le maxillaire inférieur figuré à la même planche 41, fig. 8, et décrite sous le nom de *Delphinus Bordæ;*

3° La dent désignée sous le nom de *Smilocamptus*, pl. 41, fig. 4.

4° Une dent caniniforme trouvée dans la mollasse d'Uzès (Gard.), pl. 8, fig. 7 et 8, attribuée à un animal du groupe des Otaries.

On a découvert jusqu'à présent de cette espèce :

1° Le Rostre décrit par Grateloup;

2° Les fragments de rostre et de maxillaire inférieur assez complet, décrits sous le nom de *Delphinus* ou *Champsodelphis macrogenius;*

3° Le maxillaire droit que l'on a attribué au *Delphinus Bordæ;*

Ces objets proviennent tous du grès de Léognan.

4° Un atlas complet, trouvé dans le même grès à Léognan;

5° Une dent attribuée à un phoque, pl. 41, fig. 1;

6° Les deux fragments de mâchoire inférieure attribuée au *Delphinus brevidens*, pl. 9, fig. 6;

7° La tête presque complète décrite par M. Jourdan;

8° Le bout du rostre du même, décrit par M. Paul Gervais.

Les débris de squalodon trouvés à Anvers se rapportent-ils à la même espèce que nous venons de signaler dans les sables de Léognan? Nous ne le pensons pas, et nous proposons pour la désigner le nom de :

II. Squalodon d'Anvers. — SQUALODON ANTVERPIENSIS. *N. spéc.*

Synonymie : Squalodon Antverpiensis, Van Beneden. *Un nouveau mammifère du crag d'Anvers.* Bull. de l'Acad. royale de Belgique, 2e série, t. XII, n° 7.

Squalodon Grateloupii, Staring, *Versteeningen uit den tertiairen leem van Eibergen....* Dr Staring. *Bodem van Nederland*, t. II, pag. 216.

Les fragments qui ont été mis au jour à Anvers proviennent de plusieurs individus de tailles assez diverses, que l'on pourrait rapporter peut-être à des espèces différentes. Nous nous bornerons à les signaler sous le même nom, laissant au temps le soin de confirmer, par la découverte de nouveaux matériaux, leur diversité d'origine ou leur unité spécifique.

On a trouvé des os de squalodon au fort n° 4, à Vieux-Dieu, à Berchem ainsi qu'à l'enceinte.

Parmi eux se trouvent plusieurs fragments de rostre qui nous ont permis de comprendre leur singulier système dentaire. Une de ces pièces montre les dents terminales en place. Une autre pièce nous fait connaître la disposition des dernières dents molaires, du palais à la hauteur des dernières dents et la gouttière du rostre avec la partie terminale du vomer en place.

On a trouvé aussi plusieurs dents molaires véritables, de diverses grandeurs, des prémolaires et des incisives. Nous avons vu deux dents molaires à racine élargie indiquant la transition des racines simples aux racines doubles. On observe la même transition pour la couronne.

Nous avons vu aussi des fragments assez grands du maxillaire inférieur montrant les uns leurs alvéoles vides, les autres les racines des dents en place.

Nous sommes en possession aussi de plusieurs vertèbres que nous supposons appartenir aux principales régions de la colonne vertébrale, et qui sont toutes intéressantes, surtout la dernière.

Les canines, décrites par M. Staring, ont été trouvées en 1858 dans l'argile, d'où provient aussi probablement la dent molaire. M. Staring cite en outre un épistrophéus, une lombaire, une caudale, de près de Eibergen, ainsi que des fragments de côtes, trois vertèbres lombaires, des caudales et surtout une des dernières caudales, qui ressemble à celle des cétacés, un fragment de sternum? un os d'oreille (tympanal), enfin une vertèbre cervicale et une autre dorsale. Nous avons dit, plus haut, ce que nous pensons de ces dernières pièces.

III. Squalodon de Gervais. — SQUALODON GERVAISII. *Sp. nov.*

Synonymie : Gervais, *Zoolog. et paléont. franç.*, pl. VIII, fig. II.

On n'en connaît qu'une seule dent molaire, mais elle diffère de toutes les autres par sa racine trilobée.

Elle a été trouvée, par M. Paul Gervais, au milieu de dents de squales recueillies à Saint-Jean-de-Vedas.

Nous croyons ce caractère de la racine de la dent assez important pour ne pas hésiter à faire une espèce distincte de cet animal. Nous ne serions même pas surpris que ces différences fussent plus que des différences spécifiques.

IV. Squalodon d'Ehrlich. — SQUALODON EHRLICHII. *Sp. nov.*

Synonymie : Klipstein, *Karsten's und Decken's Archiv;* 1842.
— *Jahrbuch für Mineralogie;* 1843, p. 704.
Carl. Ehrlich, *Beiträge zur Paleontologie*; Lintz, 1855.

Cette espèce se distingue par la largeur extraordinaire du rostre ainsi que par sa grande brièveté. Toutes les pièces semblent notablement plus massives. Les six dernières molaires ont à peu près la même dimension, et les espaces qui les séparent sont à peu de chose près les mêmes.

Il est assez remarquable que la dernière molaire n'est guère plus petite que les autres. Les deux bords, antérieur et postérieur, portent le même nombre de saillies.

On en possède une tête presque complète d'un animal adulte, et le crâne d'un jeune. Plusieurs dents molaires et caniniformes sont conservées, mais les premières seules sont encore en place.

Il est assez remarquable que, dans les trois rostres de Bordeaux, d'Anvers et de Lintz, on trouve, malgré les fractures, le même nombre de dents en place et le même nombre d'alvéoles vides.

A Lintz, nous avons trouvé, comme à Anvers, des dents caniniformes isolées de deux grandeurs différentes.

M. Ehrlich a recueilli également, à côté de la tête, une vertèbre du cou, aplatie et isolée, avec plusieurs vertèbres dorsales et lombaires. Les vertèbres dorsales sont d'une longueur ordinaire ; les lombaires sont un peu plus longues que les autres.

Genre STENODON [1].

A côté du squalodon, M. Ehrlich a trouvé, dans la mollasse des environs de Lintz, plusieurs débris de cétacé d'une taille beaucoup plus considérable que celle du squalodon.

Le musée de Lintz en possède une portion de crâne assez complet, avec les deux condyles occipitaux et la plus grande partie des arcades zygomatiques. Outre ce crâne, il s'y trouve encore un os tympanique assez complet, une dent caniniforme, un atlas presque entier, et plusieurs vertèbres lombaires et caudales assez bien conservées.

Herman von Meyer reçut, en 1847, de Lintz, un atlas qui venait d'y être découvert, et reconnut à la dimension de cette vertèbre cervicale qu'un autre animal que les Metaxytherium et les Squalodons avaient vécu dans le bassin de Lintz.

En 1849 on découvrit en effet, dans les mêmes couches de sable, un crâne assez bien conservé auquel l'atlas trouvé deux ans auparavant s'adaptait parfaitement. Ce crâne présentait des caractères tout particuliers, comme nous le verrons à l'instant.

Cet animal était pour Herman von Meyer différent des *Wallartigen Thiere*, et, comme on avait trouvé en même temps une dent qui n'offrait pas de caractères très-précis, il crut avoir affaire à un animal semblable à celui de Felixtown, auquel R. Owen avait donné le nom de *Balœnodon*.

Le célèbre paléontologiste de Francfort a donné à cet animal le nom de *Balœnodon lintianus*, croyant devoir rapporter ces débris à l'animal trouvé quelques années auparavant dans le crag. Nous avons déjà dit que la dent qui a été désignée sous ce nom est, selon toute probabilité, une dent de ziphius.

A en juger par la dent unique que Ehrlich a recueillie, ce prétendu Balænodon appartiendrait à la famille des Zeuglodontes et représenterait sur le continent européen la plus grande espèce de cette famille.

Il nous semble que ce sont plutôt des caractères négatifs ou secondaires

[1] De στενος, *angustus*.

qui ont guidé H. von Meyer dans cette détermination. Il a trouvé comme Owen des os d'oreille, ou plutôt des os tympaniques et des dents allongées; et il ne s'est pas aperçu que le nom de Balænodon avait été appliqué à des animaux fort différents les uns des autres. Les os tympaniques du crag sont en effet des Plesiocètes, c'est-à-dire des *cétacés à fanons* voisins des Ptérobaleines, tandis que les dents allongées, dont on a fait aussi le genre Hoplocète, sont d'un cetodonte de la famille des Ziphioïdes.

H. von Meyer avait cependant reconnu que les os tympaniques de Lintz ne ressemblent aucunement aux os tympaniques des cétacés du crag.

C'est avec raison que M. Ehrlich croit prudent d'attendre de nouvelles observations avant d'accepter ce rapprochement comme définitif.

Dans une lettre de H. von Meyer à Bronn, le savant paléontologiste de Francfort trouve que le Balænodon a plus d'affinités (*weit mehr Aehnlichkeit*) avec le zeuglodon que le squalodon et, eu égard à la taille, il rapproche le Balænodon du *Zeuglodon macrospondylus*. Une complète ressemblance n'existe toutefois pas, dit-il, et il signale quelque différence dans la forme de la tête. Il est assez remarquable que la grosse vertèbre, qui avait été découverte, était considérée par J. Müller comme vertèbre de zeuglodon. C'était pour lui une vertèbre antérieure caudale, ce que ne croit pas H. von Meyer. Du reste, comme le fait fort bien remarquer M. Ehrlich, l'atlas de Lintz ne correspond aucunement avec celui de zeuglodon, dont il diffère par des caractères plus que spécifiques, et la dent est plus différente encore des dents de zeuglodon.

Herman von Meyer ne peut du reste considérer comme démontré que le singulier crâne de Lintz se rapporte au genre *Balænodon*.

Pourrait-on même dire ce que c'est que le Balænodon? L'auteur du genre pourrait-il nous donner quelques éclaircissements à cet égard? Nous en doutons, et voici pourquoi : c'est que le nom de Balænodon, comme nous venons de le dire, a été donné à des restes d'animaux de diverse nature. Dans son dernier ouvrage [1], M. R. Owen cite, sous le nom de *Balænodon gibbosus*, une caisse de tympan d'un cétacé à fanon (Plésiocète) et reconnaît que le Balænodon appartient à un autre groupe que celui des Delphinides. Cet os tympa-

[1] *Palæontology or a systematic summary of extinct animals.* Edimburg, 1860.

nique de *Balœnodon gibbosus* provient du crag rouge de Suffolk. Les dents de cet animal, ajoute-t-il, sont déterminées depuis 1840 [1], les os tympaniques depuis 1843 [2].

Voici le résultat des observations que nous avons faites à Lintz :

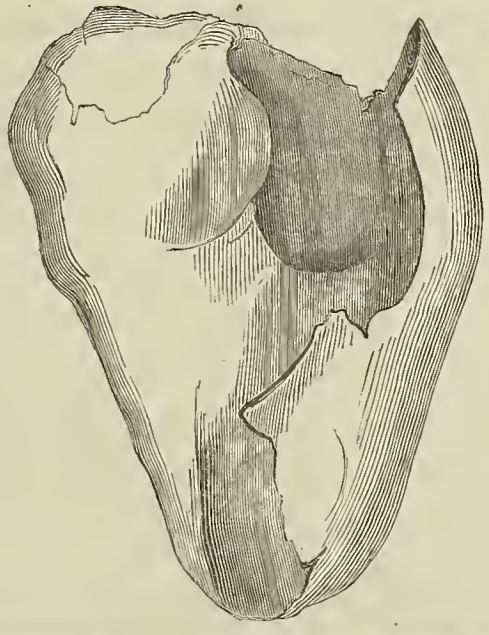
Le crâne lui-même, avec tout l'occipital et ses condyles, les os temporaux ainsi qu'une partie de la base du crâne, sont assez bien conservés, comme on peut le voir planche IV.

La tête mesure en largeur, d'un temporal à l'autre 0,5, et en longueur des bords postérieurs des condyles occipitaux au bord antérieur de l'occiput 0,3.

Ce qui donne surtout un caractère particulier à cette boîte crânienne, c'est sa forme triangulaire et la singulière et forte crête qui s'élève sur le bord de l'occipital. La boîte crânienne elle-même est creusée au milieu, comme le rostre des Physeters. Cette crête produit une forte dépression dans cette partie du crâne qui est ordinairement tout aplatie.

Les os temporaux, surtout la portion antérieure qui joint le frontal et représente l'arcade zygomatique, sont robustes et fortement développés.

On reconnaît fort bien les surfaces glénoïdes.



Os tympanique de Sténodon trouvé à Lintz, de grandeur naturelle.

[1] *History of British fossil mammals*, in-8°, p. 536.

[2] *Proceed. and quart. journ. géol. Soc.* 1843.

La caisse du tympan que nous représentons ici est plus remarquable encore que la forme particulière de la boîte crânienne. Elle n'a pas du tout les caractères de la caisse des Ptérobaleines. La portion columellaire est plus massive, le bord qui correspond au péristome ne s'étend pas d'un bout à l'autre, et toute la caisse est sensiblement plus large à l'un des pôles qu'à l'autre. La portion enroulante est assez fortement écartée de la base et produit une très-large excavation. Cette partie est régulièrement arrondie à sa surface externe.

La surface opposée à la bouche de la caisse est tout à fait arrondie, légèrement bosselée et ne présente ni les crêtes des Balénoptères ni la surface aplatie des baleines. Elle se rapproche plutôt des Delphinides, avec des caractères particuliers toutefois.

Ces caisses de tympan n'ont d'affinité qu'avec celles de zeuglodon, et H. von Meyer a fait observer avec raison que ces os d'oreille ne ressemblent aucunement à ceux de Suffolk.

Une autre caisse de tympan, mais d'un tiers plus petite, a été trouvée dans les mêmes localités. Par l'ensemble des caractères, cet os se rapproche de la caisse précédente, mais il indique, en tout cas, l'existence d'un animal différent de celui que nous venons de mentionner. C'est peut-être l'os tympanique du *Squalodon d'Ehrlich*.

Dent de Balænodon, d'après H. von Meyer, réduite de moitié.

Une dent trouvée dans le même endroit, rapportée par H. von Meyer au même animal, ne présente, au premier abord, aucun des caractères qui

semblent devoir en faire un Squalodon. Elle est longue de dix centimètres et mesure, vers le milieu, deux centimètres. Elle est sans racine et creuse à sa partie inférieure. La couronne occupe à peu près le tiers supérieur. Elle est pointue, mais irrégulièrement; elle est un peu tronquée à la suite de l'usure, mais fort obliquement; sa surface est finement striée, et, sur le côté, on voit une bordure qui la rapproche des dents caniniformes de squalodon.

Nous avons éprouvé d'abord un grand embarras pour déterminer cette dent; elle semble devoir se rapporter plutôt à une incisive de sirénoïde qu'à tout autre cétacé. Mais depuis que nous avons eu l'occasion de voir les dents antérieures si irrégulièrement usées des Squalodons, nous croyons devoir la considérer comme une défense de cet animal.

Comme il arrive souvent, cette dent qui nous gênait d'abord, vient ainsi à l'appui de la première opinion que nous avions émise au sujet de la tête.

Il existe quelques vertèbres parmi lesquelles nous pouvons citer les deux premières cervicales. Elles ont été trouvées en 1847.

Ces deux vertèbres sont complétement soudées. Elles sont entières, sauf une partie de l'arc supérieur. Les deux condyles sont intacts. Les apophyses transverses sont peu développées.

Les premières vertèbres étant réunies, l'animal de Lintz s'éloigne donc des Plésiocètes pour se rapprocher des Cétodontes.

Ces mêmes vertèbres l'éloignent aussi des Zeuglodons, comme M. Ehrlich l'a déjà fait remarquer.

Une autre vertèbre cervicale, dont le corps a environ deux centimètres d'épaisseur, est complétement isolée. Elle porte encore la base des apophyses qui vont constituer l'arc néural.

Deux autres vertèbres, dont le corps est assez long puisqu'il mesure jusqu'à dix centimètres, appartiennent à la région lombaire, et sont extrêmement remarquables par le peu de développement de l'arc néural. Des apophyses transverses sont conservées et montrent un assez grand développement.

Deux autres vertèbres, beaucoup plus petites, appartiennent à la région caudale. L'arc néural est, contrairement aux deux autres vertèbres, très-développé.

J. Müller a cru que ces grandes vertèbres se rapportent au zeuglodon, et

qu'elles présentent tous les caractères d'une vertèbre caudale antérieure de ces animaux.

Parmi les os recueillis dans le même endroit, il se trouve deux fragments d'os plats, qui ne nous semblent pas être sans importance. Ils paraissent n'avoir pas attiré l'attention jusqu'à présent.

L'un de ces os est assez long, fortement aplati, irrégulièrement arrondi à l'un des bouts, et montrant des traces de fracture à l'autre bout. Il mesure vingt-quatre centimètres en largeur. Sa hauteur est de dix centimètres, et il est épais de un à un centimètre et demi. Une de ses surfaces est plane et même légèrement creuse; l'autre surface est moins régulière, et en avant on voit même des traces de fracture. Or, nous croyons que cet os plat est le bout d'un maxillaire inférieur gauche, et, à en juger par les fractures, nous croyons que les deux branches étaient réunies par une symphyse.

Un autre fragment plus court, mais un peu plus haut, nous semble correspondre à la portion postérieure du même maxillaire, mais malheureusement les surfaces articulaires manquent. L'une des surfaces montre une gouttière longitudinale assez large, que nous ne pouvons nous empêcher de considérer comme l'orifice postérieur du canal dentaire inférieur.

Il mesure en arrière, en hauteur, environ douze centimètres, en avant, au contraire, seulement huit centimètres.

Si ces fragments proviennent réellement du maxillaire inférieur de ce cétacé, leur minceur extrême, ainsi que leur hauteur et la longue symphyse semblent indiquer que l'animal dont ils proviennent est un cétodonte, selon toute apparence plus voisin des Squalodons que des Cétodontes ordinaires.

Comme cet animal n'a rien de commun avec ceux que l'on a désignés sous le nom de *Balænodon*, et qu'il ne se rapporte à aucun genre connu, nous proposons pour lui le nom générique de *Stenodon*, en conservant le nom spécifique que H. von Meyer a proposé.

H. von Meyer trouve que le cétacé qu'il regarde comme Balænodon a plus d'affinité avec les Zeuglodons que n'en a le Squalodon, et qu'il se rapproche le plus du *Zeuglodon macrospondylus* par sa taille; depuis que l'on connait la forme véritable de la tête du Zeuglodon, on peut dire que cette appréciation est erronée.

STENODON LENTIANUS. *H. von Meyer.*

Synonymie : Balænodon lentianus, Herman von Meyer. *Jahrbuch*, 1850, 2e Heft, p. 201.
— — Carl Ehrlich. *Geognostische Wanderungen im Gebiete der Nordöstlichen Alpen*, in-8°. Lintz, 1856, pag. 81, pl. II, III et IV.

Trouvé dans la mollasse des environs de Lintz, haute Autriche, avec des débris de squalodon et de *Halitherium*.

Genre ZEUGLODON.

Nous connaissons encore bien peu de ces animaux; des vertèbres longues et courtes, grandes et petites, ont été trouvées pêle-mêle, mais toutes ces vertèbres sont-elles de zeuglodon, et doit-on admettre les *Zeuglodons macrospondylus*, *brachyspondylus*, etc.? Nous ne le pensons pas. A en juger d'après les cétacés vivants, deux espèces d'un même genre, nous dirions presque d'une même famille, ne peuvent offrir des différences aussi notables dans la structure de leurs vertèbres.

Plus tard surgira même la question de savoir si le nom *Zeuglodon* se rapporte à l'animal auquel se rattachent les grandes ou les petites vertèbres.

Le sternum est-il connu? C'est une pièce de bien grande importance.

J. Müller a figuré, pl. VIII, fig. 8 et pl. IX, fig. 6, le même os, et il semble être dans le doute si c'est une phalange ou une portion de sternum. Nous ne doutons pas de sa nature sternale. C'est la portion inférieure de cet os, qui était divisé non comme dans les Phoques, mais bien comme dans les Dauphins.

Le sternum indique à notre avis un cétacé.

La tête qui a été achetée à Haarlem, a les fosses nasales couvertes de deux longs os propres du nez, et comme ces fosses sont fort éloignées du bout du museau, il est à supposer que l'animal avait une trompe, comme le genre *Macrorhin* parmi les Phoques.

Les narines ne sont positivement pas disposées comme dans les Cétacés.

Il faudrait fouiller les fosses nasales pour y découvrir les replis ethmoïdaux des Phoques.

Ils ont une grande caisse de tympan, mais qui n'est ni de phoque ni de cétacé.

Les os des membres antérieurs sont mobiles comme ceux des Phoques.

Les premières apophyses épineuses dorsales sont les plus longues d'après J. Müller.

Le zeuglodon a été trouvé dans le sable vert éocène (*eocene green sand*) de la Caroline du sud [1].

Harlan avait reçu ces grandes vertèbres, *from the banks of the Wachiti river,* et plus tard des débris semblables, *de Clarck county, Alabama.*

Voici comment nous croyons pouvoir répartir les trois genres de cette curieuse famille :

- ZEUGLODONTES
  - ZEUGLODON
    - *Z. macrospondylus.*
    - — *brachyspondylus.*
  - STENODON
    - *St. lentianus.*
  - SQUALODON
    - I. *Sq. Grateloupii.*
    - IV. — *Ehrlichii.*
    - II. — *Antverpiensis.*
    - III. — *Gervaisii.*

[1] *Journ. of the Acad. of nat. Sciences of Philadelphia.* Vol. I, seconde série; 1847-50.

FIN.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE I.

SQUALODON ANTVERPIENSIS.

La tête est vue de profil, de grandeur naturelle. Toute la partie antérieure, qui est ombrée, a été trouvée à Anvers. Le reste est dessiné d'après deux crânes de Lintz et surtout d'après celui de Barie, décrit par Jourdan. On aperçoit en avant, en haut, une grande partie de la défense supérieure. On voit aussi distinctement la suture du maxillaire avec l'intermaxillaire, et la première dent de l'os maxillaire qui est une canine. Tout le bout du rostre est exclusivement formé par les os intermaxillaires.

PLANCHE II.

SQUALODON EHRLICHII.

(Ces dessins sont faits d'après des photographies que j'ai fait prendre sur les lieux.)

Fig. 1. Le rostre vu d'en haut, montrant l'orifice des évents.
» 2. Le même vu de profil, montrant deux dents en arrière en place.
» 3. Ces deux dents de grandeur naturelle.
» 4. Le crâne du jeune Squalodon vu d'en haut. Il repose en arrière sur les deux condyles occipitaux. Tout ce crâne est formé de pièces ou fragments réunis à la colle, et toute sa surface est couverte de grains de sable.

PLANCHE III.

SQUALODON EHRLICHII.

Fig. 1. La tête reconstituée, vue de profil, d'après le crâne du jeune individu.
» 2. Atlas de Squalodon Grateloupii. Des faluns de Salles, 1842 (miocène).

PLANCHE IV.

STENODON LENTIANUM.

Crâne trouvé dans les environs de Lintz, et déposé au *Vaterländisches Museum* de cette ville. Ce dessin a été envoyé par M. Ehrlich à J. Müller, et la famille de l'illustre défunt a bien voulu le céder en ma faveur.

FIN DE L'EXPLICATION DES PLANCHES.

TABLE DES MATIÈRES.

I. — INTRODUCTION.

Première découverte, en 1832, du Basilosaure, page 3.
Découverte du Zeuglodon à Léognan, page 4.
R. Owen reconnaît le Basilosaure comme un mammifère voisin des Lamantins, page 4.
Van Beneden et H. von Meyer reconnaissent le Squalodon pour un mammifère voisin des Dauphins, page 5.
De nouvelles découvertes aux États-Unis, page 5.
Koch rassemble de nouveaux ossements, page 6.
Exposition à Dresde, à Berlin, à Leipzig et à Vienne, page 6.
J. Müller fait sa première communication sur le fameux Hydrarchos, et trouve des vertèbres du cou, page 7.
Dents figurées par Scilla, page 7.
Découverte de Squalodon à Lintz, page 7.
Klipstein la fait connaître le premier, page 7.
Découverte de Squalodon en Gueldre, Pays-Bas, par M. Staring, page 7.
Gervais signale des dents près de Montpellier, page 8.
Découverte des Squalodons à Anvers, page 8.
Visite à Bordeaux et à Lintz, page 9.
Achat d'une collection d'ossements de Zeuglodon, page 9.
Découverte d'un Squalodon à Barie, signalée par M. Jourdan, page 9.
Découverte du bout du rostre du même animal que l'on croyait perdu, page 10.
Matériaux que nous avons eus à notre disposition, page 10.
Division du travail, page 11.
Littérature, page 11.

II. — SQUALODON D'ANVERS.

* Os de la tête, page 14. — *Id.* Intermaxillaire, page 15. — *Id.* Maxillaire, page 18. — *Id.* de la face, page 20. — *Id.* Maxillaire inférieur, page 22. — *Id.* Fractures des rostres, page 25. — *Id.* Longueur et hauteur, page 24.

** Dents, page 25. — Il y a trois sortes de dents. — *Id.* Incisives, page 26. — *Id.* Canines, page 29. — *Id.* Molaires, page 30. — *Id.* Prémolaires, page 30. — Dent de transition, page 31. — *Id.* Molaires véritables, page 32.

*** Formule dentaire, page 42.

III. — SQUALODON GRATELOUPII.

1° Description du rostre, page 44. — 2° Atlas, page 45. — 3° Maxillaire inférieur, page 47. — 4° Dent semilocauptus, page 47.

Squalodon de St-Jean de Vedas (Gard.), page 48.

Deux dents molaires, page 48.

Description des os de Lintz, page 48.

1° Crâne adulte, page 48. — 2° Vertèbres, page 49. — 3° Crâne jeune, page 50. — 4° Dents, page 51.

Squalodon de Barie, page 52. — *Id.* de Gueldre, Pays-Bas, page 55. — *Id.* de Malte, page 56.

IV. — SYSTÉMATISATION.

Peu d'animaux ont été si diversement appréciés, page 57.

Owen regarde les Squalodons comme des Zeuglodons européens, page 57.

H. von Meyer propose une famille à part, page 58.

Gibbes admet l'identité spécifique des Squalodons et des Zeuglodons, page 58.

Giebel place les Zeuglodons parmi les Phoques, et les Squalodons parmi les Delphinoïdes, page 58.

Koch les place entre les cétacés et les Phoques, page 58.

Les Balænodons sont à supprimer, page 59.

J. Müller réunit les Zeuglodons et les Squalodons dans un genre, page 59.

Nous avons pensé aussi qu'ils ne sont pas de vrais Souffleurs, page 59.

Staring trouve au Squalodon de grandes affinités avec les Phoques, par les pattes et les fosses nasales, page 60.

Gervais pense toujours que ce sont des cétacés véritables, page 60.

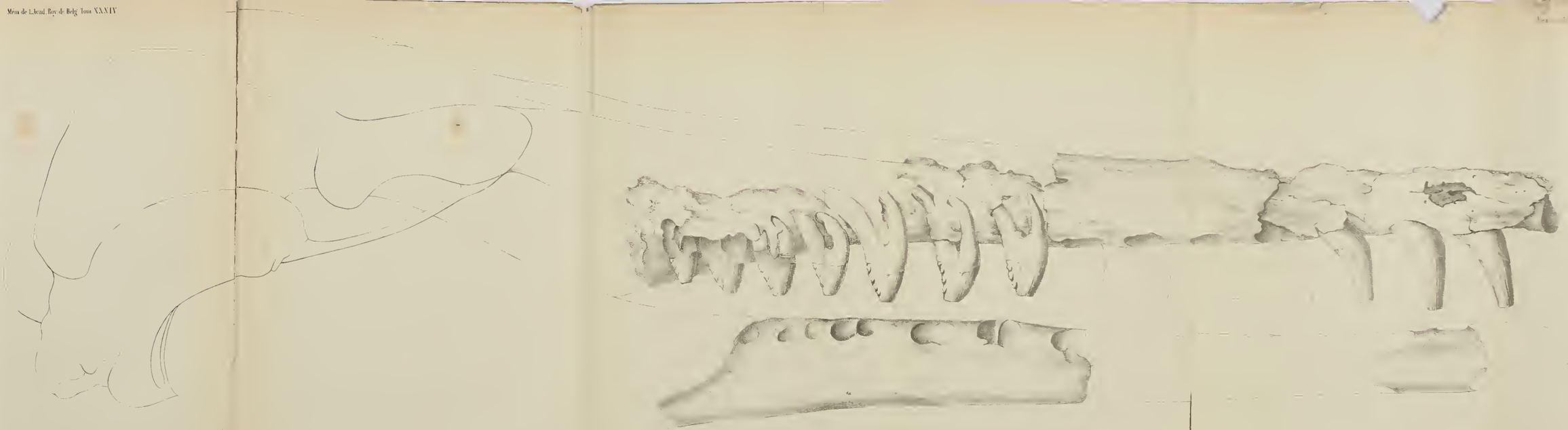
Jourdan place les Squalodons à la tête des Dauphins, et les Zeuglodons parmi les Phoques, page 60.

Pictet admet l'ordre des Zeuglodontes, page 60.

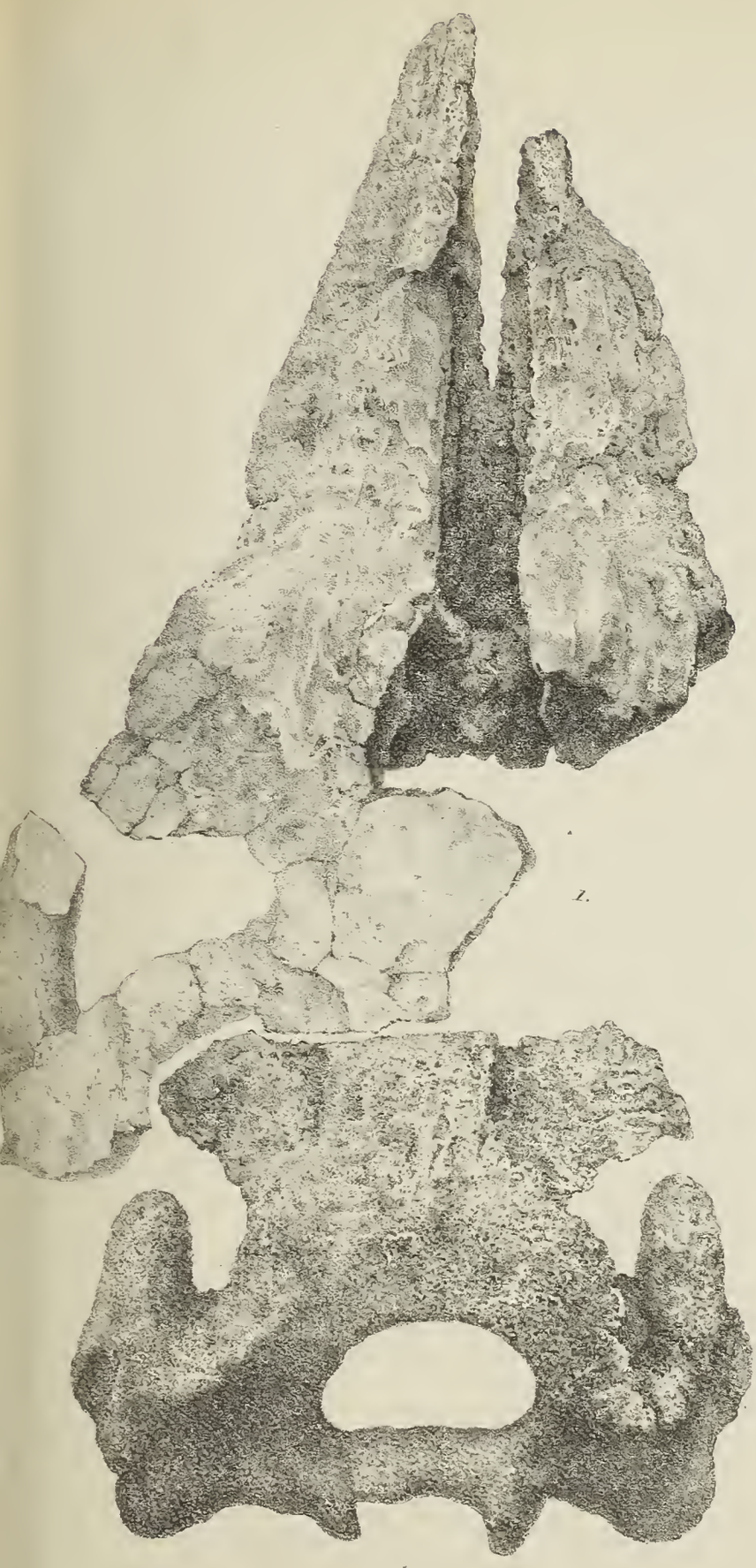
Comparaison des Zeuglodons avec les Squalodons, page 61.

ZEUGLODONTES.

Genre Squalodon, page 64. — *Synonymie*, page 64. — Localités, page 65. — Comparaison, page 67. — *Squalodon Grateloupii*, page 68. — *Id. Antverpiensis*, page 70. — *Id. Gervaisii*, page 71. — *Id. Ehrlichii*, page 72.
Genre Stenodon, page 75.
Genre Zeuglodon, page 79.
Tableau de la famille des Zeuglodontes, page 80.
Explication des planches, page 81.



BRITISH MUSEUM
NATURAL HISTORY.



1.

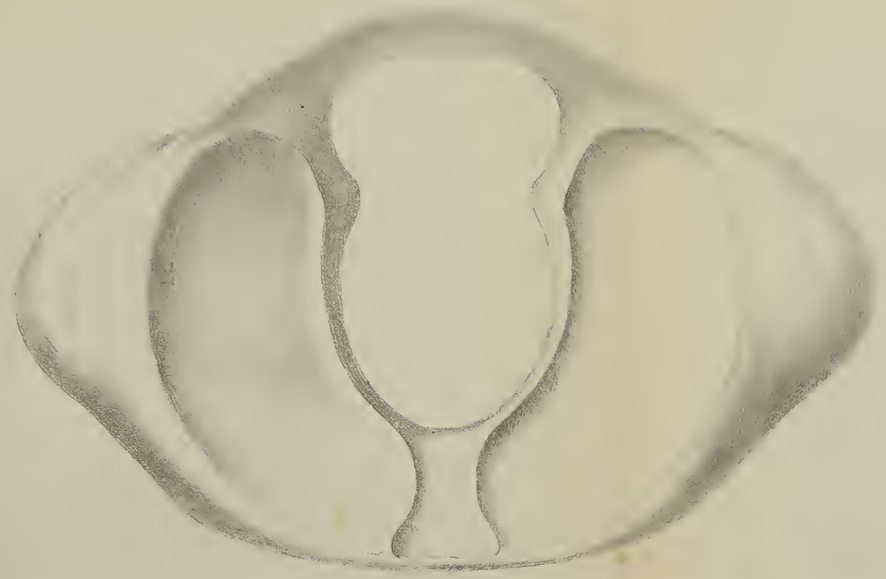
2.

3.

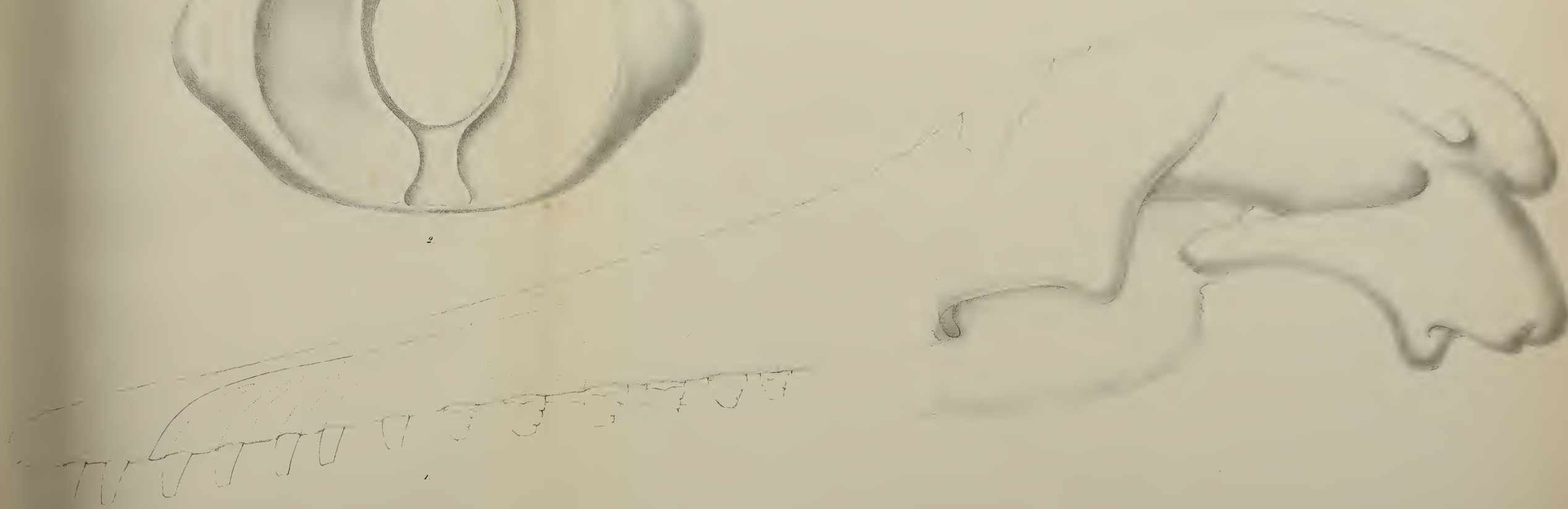
4.

Lith. par G. Severeyns lith.

BRITISH
NATURAL HISTO



2.



1.

BRITISH MUSEUM
NATURAL HISTORY.

Lith. par G. Severeyns lith. de l'Acad. Roy.

BRITISH MUSEUM
NATURAL HISTORY

RECHERCHES

SUR LES

BDELLODES (HIRUDINÉES)

ET LES

TRÉMATODES MARINS,

PAR

P.-J. VAN BENEDEN,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE, OFFICIER DE L'ORDRE DE LÉOPOLD, ETC.,

ET PAR

C.-E. HESSE,

OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR, NATURALISTE A BREST (FINISTÈRE),
ET MEMBRE DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES.

3e ET 4e APPENDICES

au Mémoire présenté à l'Académie, le 8 novembre 1862.

TROISIÈME APPENDICE [1].

Nous n'avons ni genre nouveau ni espèce nouvelle à faire connaître dans ce groupe, disions-nous au sujet des Malacobdellaires, mais l'un de nous possède, depuis longtemps en portefeuille, quelques observations sur une malacobdelle vivante de la *Mya truncata*, et profite de cette occasion pour faire mention de cette famille intéressante.

Cette famille est formée des Malacobdelles, des Amphyptyches et des Gyrocotyles, qui tous vivent sur des mollusques acéphales.

L'un de nous, M. Hesse, vient de découvrir sur un *Cardium aculeatum* d'une très-forte dimension, une espèce nouvelle dont la description fait le sujet de ce troisième Appendice.

La malacobdelle de la Mya que nous avons observée était du sexe mâle, celle que M. Hesse vient de découvrir sur le *Cardium* appartient au contraire au sexe femelle.

Plus d'un naturaliste a cru, en voyant les couleurs unies et tranchées de la plupart des vers que nous avons figurés dans ce Mémoire, que ces couleurs sont exagérées.

Dans une visite toute récente que nous venons de faire à Brest, nous avons pu nous assurer de nouveau que les poissons de la côte de Bretagne sont tous très-vivement colorés, et qu'ils tiennent bien plus déjà des poissons de l'Atlantique que de ceux de la Manche et de la mer du Nord. Les parasites

[1] Présenté à l'Académie, le 6 août 1864.

participent de cette vive coloration : les mêmes espèces diffèrent considérablement entre elles sous ce rapport. Ainsi, pour n'en citer qu'un exemple : le congre (*Murœna conger*), qui a toujours une couleur blafarde dans la Manche et la mer du Nord, présente dans les parages de Brest une couleur très-foncée, plus noire même que nos anguilles en général. Il en est de même de divers autres poissons osseux.

Aussi la Malacobdelle des Bucardes, que nous faisons connaître par la description suivante, est-elle complétement différente, par divers caractères aussi bien que par la couleur, de la malacobdelle de nos mollusques bivalves. Cette description est faite par M. Hesse.

MALACOBDELLE DE LA BUCARDE A POINTES.

(*Malacobdella cardii* nobis).

Planche 1.

Cette remarquable espèce est longue de $0^{m},05^{c}$ et large de $0^{m},02^{c}$; son épaisseur est d'environ $0^{m},003^{mm}$.

Son *corps* [1], qui est de forme ovale, est divisé en quatre parties bien distinctes : la *tête*, le *cou*, l'*abdomen* et la *ventouse anale*.

La *peau*, qui recouvre le corps, est glabre, elle est assez épaisse sur la partie antérieure, qui comprend la tête et le cou; mais elle est, au contraire, très-mince sur le reste du corps, dont elle laisse facilement apercevoir la disposition des viscères.

La *tête* [2], qui est plate et un peu bombée en dessus, présente une échancrure au bord frontal, et à sa base deux petits appendices coniques, d'un demi-millimètre de hauteur, qui sont probablement des organes de tact. Elle est circonscrite, comme celle des Phyllonelles, dans une enceinte cordiforme, bien délimitée, dont le bord supérieur est en pointe arrondie et l'inférieur présente une échancrure qui s'adapte à l'articulation occipitale qui la suit, et dont elle est séparée par une petite distance.

[1] Pl. I, fig. 1.

[2] Fig. 4.

L'*ouverture buccale* [1] est placée sous la tête, à l'endroit où celle-ci présente l'échancrure frontale, dont elle fait partie. A l'état de repos, elle a généralement une forme triangulaire; mais comme elle est essentiellement contractile, elle peut se fermer hermétiquement en appliquant l'un contre l'autre, comme des mâchoires, son bord labial, qui forme relief, et qui paraît être d'une substance très-coriace, ou bien s'ouvrir démesurément et présenter alors un orifice relativement considérable.

Le *bord labial* [2] est pourvu, dans tout son circuit, d'une rangée de dents larges et plates à pointes mousses. Celles-ci sont suivies d'autres plus petites, placées immédiatement en dessous, et disposées, l'une à côté de l'autre, comme les pavés d'une rue, imitant en cela ce qui se voit dans certains poissons du genre *Pagrus*, et notamment le *pagrus vulgaris* et *centrodontus*.

Ces *dents* sont coniques, à sommet arrondi; elles peuvent, par la contraction de la surface sur laquelle elles sont implantées à la manière des poils, s'écarter ou se rapprocher à volonté, et former alors des rangées parallèles séparées par de petites distances, qui forment des stries verticales ou horizontales.

Le *cou* [3], qui est un peu plus étroit que la tête, est assez long, il est mince sur les bords et plus épais dans le milieu; il se termine en pointe arrondie, à sa base, laquelle va s'enchâsser entre les deux lobes ovifères de l'abdomen, dont il paraît être séparé par une délimitation bien accusée et tracée par une sorte de sillon.

On remarque aussi, à la partie moyenne de cet endroit du corps, une division semblable, qui sépare le cou en deux tronçons, et facilite ainsi ses mouvements de contraction ou d'extension.

L'épaisseur de la partie médiane du cou est due à la présence de deux forts muscles extenseurs juxtaposés, qui partent de la région occipitale pour se rendre à l'extrémité inférieure de cette portion du corps. Au milieu de ces deux muscles, immédiatement au-dessous de l'occiput, on aperçoit un *canal déférent*, cylindrique, très-consistant, un peu élargi, en forme de gan-

[1] Fig. 3 et 5.
[2] Fig. 5 et 6.
[3] Fig. 4.

glion cérébral à son origine, et légèrement infléchi à droite, qui descend perpendiculairement, pour se rendre jusqu'à la base de la ventouse anale, en coupant, dans son trajet qui est légèrement sinueux, les anses formées par le *canal intestinal* [1].

On voit également, surtout au-dessous, où ils sont plus apparents, partant des deux tentacules occipitales, qui sont à la base de la tête, *deux cordons nerveux*, qui semblent être de la même nature que celui du milieu, mais d'un plus faible diamètre, et qui, en suivant à peu de distance les bords du corps, se rendent aussi comme lui à la base de la ventouse anale [2].

La *région abdominale* [3], qui est la plus étendue des quatre parties du corps, est entièrement occupée latéralement par les *ovaires*, qui sont tellement tuméfiés d'œufs qu'ils en sont déformés. Les *œufs* [4], qui sont extrêmement petits et sphériques, sont renfermés dans des espèces de *cœcums*, de diverses grandeurs, ayant généralement la forme de losanges et séparés entre eux par des dépressions très-profondes, qui cependant n'interdisent pas leur communication.

Au milieu du corps, et comprimé entre les deux lobes formés par les ovaires, on aperçoit, par intervalle, le *canal digestif* [5], qui, après s'être replié quatre fois en travers, se rend de l'œsophage au-dessus de la base de la ventouse anale, où il se termine par un appendice tubiliforme, très-mince et très-long, qui est rétractile, et au bout duquel se trouve l'*ouverture anale* [6].

Le *tube intestinal* paraît être d'un fort calibre; il est partiellement caché, en dessus du corps, par l'envahissement latéral des ovaires; mais en dessous, on suit parfaitement toutes ses circonvolutions. Les bords sont frangés ou déchiquetés, ce qui tient probablement aux effets de la compression.

La *ventouse anale* [7] est de moyenne grandeur et assez bombée; elle est

[1] Je me suis conformé, en donnant le nom de *canal déférent* à cet organe, à l'opinion de mon collaborateur; mais dans la mienne, ces trois cordons seraient nerveux, celui du milieu serait médullaire. (C.-E. Hesse.)

[2] Fig. 1, 2, 3, 4 et 5.

[3] Fig. 1 et 2.

[4] Fig. 8, 9, 10 et 11.

[5] Fig. 1, 2, 4 et 10.

[6] Fig. 11 et 13.

[7] Fig. 1, 2, 12 et 13.

très-mince et a peu de consistance ; elle adhère cependant très-fortement aux objets sur lesquels elle s'applique. Elle est inerme.

Le dessous du corps est exactement semblable à la surface dorsale, mais seulement beaucoup moins bombée, et la peau étant aussi plus mince, on aperçoit plus distinctement la disposition des différents organes qu'elle renferme.

Je n'ai pas pu constater, d'une manière suffisante pour pouvoir en parler avec certitude, la présence de l'*appareil sexuel ;* il aurait fallu, pour s'en assurer, soumettre cette malacobdelle, dont je n'ai qu'un exemplaire et que je crois très-rare, à des explorations qui eussent eu pour résultat de la sacrifier. Il ne m'a pas été possible non plus de savoir si les rangées de dents, qui garnissent l'orifice supérieur de la bouche, descendaient profondément dans la cavité œsophagienne.

Le corps de ce ver est entièrement glabre et n'est pas comme celui de la Malacobdella Grossa, enduit de viscosité ; il est extrêmement flasque, mou et incapable de rigidité ; sa ventouse anale ne lui sert que de point de fixation ; elle lui est inutile pour la marche, qui s'opère à l'aide de la reptation sur la surface ventrale, comme le font les *planaires,* ou les *némertes.* J'ai vu quelquefois notre nouvelle Malacobdelle se faire un point d'appui de la tête et de la partie antérieure du corps, puis attirer vers la région céphalique tout le reste du corps.

Cette espèce est assez vive dans ses mouvements de locomotion surtout, et, chose qui m'a beaucoup surpris, car c'est peut-être la seule exception que je connaisse à cet égard, loin de fuir la lumière, elle paraît la rechercher.

Le corps est éminemment contractile en tous sens, dans celui de la longueur surtout, et il est du reste merveilleusement disposé pour cela, non-seulement par les séparations ou les sortes d'anneaux qui divisent le cou, mais encore par l'écartement des *cœcums ovifères* qui, laissant entre eux des distances assez notables, peuvent se rapprocher sans inconvénient.

Dans son état normal, ce ver affecte une forme ovalaire qui, conséquemment, est élargie au centre et atténuée à ses deux extrémités, mais lorsque la privation d'aliments se fait sentir, et que le milieu dans lequel il se trouve agit

sur lui, on le voit inquiet; parcourir en tous sens le vase dans lequel il est emprisonné; alors il s'étend démesurément, et ses deux côtés latéraux se rapprochent de manière à devenir parallèles; il glisse sur le fond, traînant à sa suite sa ventouse anale dont, comme je l'ai dit, il ne se sert pas pour s'en faire un point d'appui et pour progresser à la manière des Calliobdelles.

J'ai été singulièrement frappé de l'analogie de conformation que présentent la tête et le cou de cette malacobdelle avec ceux des *Bulléens,* et de la disposition de l'orifice buccal, armé, comme dans ceux-ci, de dents qui semblent plutôt destinées à triturer les objets qu'à les inciser. Cette organisation spéciale, qui a évidemment pour objet de donner à ces mollusques le moyen de vivre dans le milieu qu'ils habitent, m'a conduit à chercher dans quel but le ver dont je m'occupe aurait avec eux certaines ressemblances de forme, et serait pourvu d'organes à peu près semblables; ces conjectures, que je ne donne du reste que pour ce qu'elles valent, rendent peut-être compte de quelques points de conformation.

Les Bulléens vivent, ainsi qu'on le sait, dans le sable, et conséquemment ont tout ce qui leur est nécessaire pour y trouver les aliments dont ils se nourrissent et pour les triturer; aussi ont-ils non-seulement la bouche armée de dents, mais encore l'estomac muni d'un appareil très-puissant pour les broyer.

Notre Malacobdelle vit sur une bucarde qui habite aussi le sable, et comme ce mollusque est obligé d'avoir constamment ses valves béantes pour prendre sa nourriture, il s'ensuit que le parasite qui est fixé sur lui est, par le fait, exactement placé dans le même milieu que les Bulléens; d'où il résulte qu'il pourrait bien, tout en profitant de l'hospitalité, trouver encore, aux dépens de son hôte, un complément utile dont il bénéficie. J'ai en outre remarqué que le tube intestinal qui, dans les espèces sanguivores, est rempli de matières animales agglutinées par le sang ou par d'autres sécrétions, paraissait, dans cette espèce, contenir des substances terreuses qui sembleraient indiquer un autre genre d'alimentation que celui qui est habituel à ces vers parasites.

Les *œufs* sont, comme je l'ai dit, d'une extrême petitesse, et c'est à peine si on peut les apercevoir à la loupe; ils ne paraissent contenir qu'un seul vitellus; ils étaient, moins une petite pointe, d'une sphéricité parfaite, et ne présentaient aucun limbe dans leur périphérie. Ils se mouvaient avec une grande

vélocité, probablement à l'aide de cils vibratils que je n'ai pas aperçus, bien que je les aie soumis à un fort grossissement.

Cette Malacobdelle est très-vivace, et quoiqu'elle ait été tourmentée assez fréquemment et assez longtemps, pendant l'examen, et qu'elle fût privée de nourriture, je l'ai gardée une dizaine de jours, après lesquels je l'ai plongée dans de l'alcool, craignant qu'elle ne tombât en décomposition.

Coloration. — Tête, cou, limbe du corps et ventouse d'un jaune sale, particulièrement au milieu du cou. Appendices de la tête formant deux petites taches plus foncées. Canal déférent et les deux cordons nerveux latéraux d'un blanc pur. Cœcums ovifères et œufs d'un violet vineux, intestin d'une couleur terreuse.

Habitat. — Trouvée, le 6 mai 1864, dans une bucarde à aiguillons, *cardium aculeatum,* sous le manteau, où elle était seule. Cette bucarde était d'une dimension si extraordinaire, que c'est probablement la plus grande que l'on ait trouvée, et j'en ai, par curiosité, conservé les dimensions : elle avait 10 centimètres de longueur, 9-50 de largeur et 8 centimètres de hauteur.

EXPLICATION DE LA PLANCHE I.

Fig. 1 et 2. Malacobdelle de la bucarde à pointes, vue en dessus et en dessous.

— 3. Tête de la même, très-grossie, vide en dessous, montrant l'ouverture buccale dans sa forme ordinaire.

— 4. Tête de la même, vue en dessus, montrant l'échancrure labiale ou frontale. La circonscription de la tête, avec ces deux appendices coniformes latéraux, desquels portent les deux cordons nerveux, et au milieu, à la base de l'occiput, le canal déférent ou cordon médullaire, que l'on aperçoit au centre du cou, lequel est cunéiforme, proéminent, et séparé en tronçons par deux sortes d'articulations; plus bas, se voit le tube intestinal formant deux anses, au milieu des cœcums ovifères.

— 5. Tête de la même, très-grossie, vue en dessous, montrant la bouche ouverte, dans laquelle on aperçoit la rangée labiale des dents suivies d'autres plus petites, disposées en forme de pavé. On voit aussi les trois cordons nerveux qui, pour les latéraux, sont seulement visibles en dessous, dans toute leur étendue [1].

[1] La description des organes, aussi bien que leur détermination, est faite par M. Hesse seul, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Fig. 6. Partie supérieure de la bouche, plus grossie, pour montrer les dents.
— 7. Tête de la Malacobdelle, vue de profil.
— 8 et 9. OEufs de la même, très-grossis, dont l'un commence à éprouver les influences de l'incubation et à quitter sa forme sphérique.
— 10. Portion antérieure du tube intestinal, très-grossi, montrant sa largeur, ses dentelures et les anses qu'il forme et qui sont traversées par le canal déférent.
— 11. Un cœcum très-grossi, montrant les œufs dont il est rempli.
— 12. Partie inférieure de la Malacobdelle très-grossie, vue en dessus de la base de la ventouse anale, montrant le conduit terminant le tube intestinal.
— 13. Même portion du corps montrant le même conduit invaginé.

QUATRIÈME APPENDICE [1].

Nous avons ajouté déjà deux appendices à notre Mémoire sur les Bdellodes et les Trématodes marins; le premier comprenant la description d'un nouveau genre parmi les Hirudinées, le second la description d'une nouvelle espèce de microcotyle des branchies de la Daurade vulgaire. Dans le supplément que nous avons l'honneur de communiquer aujourd'hui, nous signalons à l'attention des helminthologistes encore deux Ecthelminthes nouveaux, l'un appartenant au genre si intéressant des Malacobdelles, l'autre faisant partie de la famille importante des Tristomidés, et qui doit même former un genre nouveau dans ce groupe déjà si riche et si remarquable. La nouvelle Malacobdelle a été observée, comme nous l'avons dit plus haut, sur un *cardium* de la côte de Bretagne; le nouveau genre de la famille des Tristomidés provient du *squatine ange*, pêché sur la côte d'Ostende.

PSEUDOCOTYLE DU SQUATINE [2].

(*Pseudocotyle Squatinæ* nobis.)

Planche II.

Ce ver ressemble beaucoup par son aspect aux divers genres qui composent la famille des Tristomidés. Il est d'un blanc mat, a une forme allongé et vit collé contre la peau de son hôte. Il est aplati comme une feuille, et, semblable

[1] Présenté à l'Académie, le 8 octobre 1864.

[2] De Ψευδος *falsus* et Κοτυλη *fovea*.

aux Epibdelles, il a l'aspect d'une écaille charnue. Il est deux fois aussi long que large. Tout l'appareil vitellogène est visible à travers l'épaisseur de la peau et occupe, de chaque côté, la moitié de la largeur dans toute l'étendue du corps. On ne voit les autres organes que par l'effet de la compression. A un fort grossissement, on voit que la peau du dos, au lieu d'être lisse, est couverte de papilles charnues. Nous avons cherché à reproduire ces papilles dans notre fig. 6.

Quand on détache ce ver de l'hôte qu'il habite, et qu'on le place dans un bocal contenant de l'eau de mer, il se meut avec beaucoup de vivacité, se retourne dans tous les sens, s'allonge et se raccourcit, se replie sur lui-même, tout en restant fixé aux parois par la ventouse postérieure. Comme tous ses congénères, la peau est très-consistante et l'on n'a guère à craindre de le détruire en le saisissant à la pince ou autrement.

Habitat. — Jusqu'à présent, personne n'a encore signalé un ver Trématode extérieur sur le Squatine ange. Le premier jour de notre visite au marché d'Ostende, au commencement du mois d'août de cette année, nous avons trouvé sur un de ces poissons de taille moyenne une douzaine de vers blancs, aplatis et collés avec une telle intensité contre la peau blanche du ventre, que nous avons éprouvé quelque peine à les enlever. Ils tiennent avec une ténacité incroyable par la partie postérieure du corps. A l'aide d'une lame de couteau, nous sommes toutefois parvenus à en détacher plusieurs encore en vie, et à les conserver pendant quatre ou cinq jours dans l'eau de mer; ils s'attachent fortement aux parois du bocal.

Nous avons examiné, depuis le mois d'août, une quinzaine de Squatines de toutes les dimensions, mais nous n'avons plus observé un seul exemplaire.

Ce sont les vers trouvés les premiers jours qui ont servi aux recherches que nous consignons dans cette Notice.

Ce ver est long de cinq millimètres et de trois millimètres de large.

DESCRIPTION ANATOMIQUE.

Le tube digestif est remarquable par ses ramifications, qui s'étendent sur le côté dans toute la longueur. Nous n'oserions assurer qu'en arrière

les deux branches sont unies par anastomose, ou terminées par un cul-de-sac.

La bouche s'ouvre en avant près du bord libre en dessous, et elle ne se reconnaît que par les replis de la peau qui constituent une espèce d'entonnoir. Il n'y a pas de lèvres proprement dites, et on ne voit autour d'elle aucune apparence de ventouse.

A quelque distance de l'orifice buccal, on aperçoit le bulbe du même nom qui se distingue par sa forme ovale comme par l'épaisseur de ses parois. De sa partie inférieure et médiane naît un œsophage assez court et étroit, sur lequel est couché une bandelette en forme de V, qui représente peut-être le centre du système nerveux.

Au bout de l'œsophage, le canal digestif se divise en deux branches qui s'étendent en arrière en longeant le bord libre du ver. Sur toute la longueur de son trajet naissent des troncs qui se ramifient diversement et dont les branches sont au nombre de dix de chaque côté.

Ces cœcums, ramifiés aussi bien que le tube qui les porte, sont transparents et du même calibre dans toute la longueur. On ne les découvre qu'en portant toute son attention sur eux. Les vers sont trop petits pour mettre ces cavités en évidence par des moyens artificiels. Nous n'avons pas vu de cœcums en dedans du tube.

Il est possible que ces deux tubes s'unissent en arrière, mais nous n'avons pu, à cause de la taille, nous en assurer directement par une injection.

L'appareil reproducteur présente, comme dans tous les genres voisins, une complication assez grande. La division du travail n'est nulle part poussée aussi loin.

L'organe le plus vaste, et qui s'étend réellement dans toute l'étendue du corps, c'est le vitellogène. On l'aperçoit sur les flancs, à droite et à gauche, à travers l'épaisseur de la peau, recouvrant partout les ramifications de l'appareil digestif et les accompagnant même, comme s'il en était une dépendance. Ce sont tous cœcums glandulaires placés le long de fines branches qui se réunissent comme une grappe à une seule tige, et ces tiges s'insèrent comme les cœcums du tube digestif, sur la longueur du tronc qui s'étend d'avant en arrière dans presque toute la longueur de l'animal.

En avant, à une courte distance du bulbe buccal et de l'œsophage, on voit partir de chaque tronc longitudinal et en dedans une branche unique qui va s'anastomoser avec celle du côté opposé, comme le trait qui unit les deux jambes de la lettre H. Les grappes vitellogènes pendent pour ainsi dire le long des jambes de cette lettre. En arrière et un peu sur le côté, on voit du côté gauche une poche opaque, assez grande, de forme ovale, et à laquelle aboutit une branche très-courte qui naît sur la branche transverse du vitelloducte. Cette poche est le vitellosac, dans lequel on aperçoit toujours une réserve de granulations vitellines.

Nous n'avons pu apercevoir le canal qui conduit le produit vitellin sur la voie du germigène, pour mettre ces produits directement en rapport.

Ce vitellogène avec son vitellosac se comporte dans son ensemble comme dans plusieurs genres voisins, mais surtout comme dans le genre Epibdella.

Le germigène consiste dans une poche sphérique qui est située à côté du vitellosac, en dessous, comme ce dernier, de la branche transverse du vitelloducte. Autant le vitellosac se fait remarquer par son opacité, autant le germigène se distingue par sa transparence. On voit son intérieur tout rempli de vésicules transparentes, dont la nature n'est guère problématique, et tous ceux qui atteignent leur maturité se concentrent sur un point donné, pour servir de noyau à la fabrication des œufs.

Au-dessus et au-devant du germigène, on aperçoit le canal excréteur ou le germiducte, qui doit aboutir à un canal commun avec le vitelloducte. Nous n'avons pu apercevoir cette communication.

Immédiatement au-devant du germigène, on aperçoit une vésicule dont la forme est très-variable dans les divers individus, et dont le contenu opaque occupe tantôt toute la cavité, tantôt seulement une partie. C'est sans doute l'ootype.

Nous n'avons d'abord pu découvrir d'œuf complet, et nous n'avons pu nous assurer d'une manière certaine de la terminaison de cet appareil femelle. Les œufs sont-ils évacués sur la ligne médiane, sur les flancs ou sur le bord? c'est ce que nous n'avons pu décider d'abord. Nous avons cependant tenu ces vers parfaitement en vie, pendant plusieurs jours, dans l'eau de mer. Nous avons ensuite examiné ceux que nous avions jetés vivants dans

la liqueur et, pendant ce second examen, nous avon été plus heureux.

Dans un individu, nous avons aperçu, à la hauteur de l'organe que nous regardons comme ootype, plusieurs œufs encore enfermés ensemble, mais qui étaient prêts à être pondus. Nous les avons fait sortir en exerçant une légère pression et nous en avons vu cinq ou six, les uns n'ayant pas encore leurs contours bien formés, les autres affectant leur forme réguliere et entourés de leur coque plus ou moins solide. Ce ver a été jeté vivant dans la liqueur, au moment où les œufs étaient en pleine voie de formation. Quelques-uns d'entre eux n'ont pas eu le temps de se former complétement.

Ces œufs sont comparativement grands, puisqu'ils atteignent à peu près la moitié de la grandeur du germigène. Ils sont oblongs et comme tronqués aux deux bouts sans aucune apparence de filaments ou d'appendices quelconques. Nous ne voyons qu'une seule enveloppe dont on reconnaît parfaitement le double contour. Ces œufs sont d'un jaune foncé.

Dans le genre Épibdelle, comme dans plusieurs autres Trématodes voisins d'eux, l'appareil mâle consiste essentiellement en deux fortes glandes qui se voient aisément vers le milieu du corps, à côté de la ligne médiane. Il n'en est pas ainsi dans le genre qui nous occupe. Tout l'espace qui se trouve libre entre les deux branches du tube digestif, en arrière du germigène et du vitellosac, est occupé par un organe glandulaire qui a l'aspect d'une vaste grappe, et dont les diverses vésicules représentent des spermigènes ou des testicules. On voit chaque vésicule attachée au tronc par un canal étroit et transparent, et dans chacune d'elles on voit s'élaborer les cellules spermatiques. Le nombre de ces vésicules est très-grand.

Le spermiducte naît en arrière au milieu d'elles, et à mesure qu'il s'étend en avant, il s'élargit et devient de plus en plus distinct. Nous n'avons toutefois pas vu de spermatozoïdes se mouvoir dans son intérieur, pas plus que nous n'avons vu d'œufs dans l'ootype.

Ce spermiducte coupe en avant la branche transverse du vitelloducte, s'avance sur la ligne médiane et va aboutir à un organe tout particulier, que nous ne pouvons nous empêcher de considérer comme un penis.

En effet, au milieu d'une vésicule transparente, on aperçoit un filament solide, entièrement opaque, enroulé diversement sur lui-même comme un

ressort de montre, et que l'on voit changer de position dans l'intérieur même de la poche qui l'entoure. Autant nous avons vu d'individus, autant nous avons vu de formes différentes affectées par cet organe. Les rapports avec le spermiducte ne nous sont pas connus, et cependant nous sommes persuadés que nous avons là sous les yeux le penis des pseudocotyles.

On ne doit pas perdre de vue que, dans tous ces vers Trématodes, on aperçoit à l'orifice des organes sexuels des plaques chitineuses, des crochets de formes diverses, qui se rattachent évidemment à l'appareil de reproduction. Nous voyons dans ce genre les orifices des deux sexes s'ouvrir sur la ligne médiane, ce qui éloigne notablement ces vers des Tristomes proprement dits.

A en juger par la grandeur des œufs, il est hors de doute que le développement de ces vers ne soit direct et sans métamorphoses.

Il est à remarquer aussi que les œufs, dans les divers genres de cette famille, sont non-seulement très-volumineux, mais portent de très-longs filaments et une coque très-solide.

L'appareil excréteur, pour ne pas dire l'appareil urinaire, est très-développé dans tous ces vers, mais il manifeste très-diversement sa présence à cause de la ténuité extrême des parois de ses canaux délicats. Dans la plupart des cas, ce n'est que la présence ou l'accumulation du produit sécrété qui trahit la disposition de l'appareil.

Dans le genre qui nous occupe, les canaux du milieu sont complétement invisibles, et ce n'est que sur le côté du corps que l'on aperçoit, à droite et à gauche, comme dans les Épibdelles, deux grandes poches à parois minces et contractiles, qui changent constamment de forme et qui représentent la terminaison de cet appareil. C'est ordinairement sur la ligne médiane, que l'on aperçoit une vésicule pulsatile; ici, comme dans les autres Trématodes supérieurs, on aperçoit au contraire en avant des deux côtés une poche lentement contractile, qui expulse son contenu à des intervalles très-irréguliers.

Nous pouvons caractériser ainsi ce nouveau genre :

Point de ventouses à côté de la bouche, et la ventouse postérieure du corps très-variable dans sa forme comme dans sa grandeur. Cette ventouse ne renferme ni rayons ni crochets. Le canal intestinal est ramifié. La vésicule

contractile de l'appareil excréteur s'ouvre sur le côté, tandis que les orifices sexuels sont situés sur la ligne médiane. Les œufs sont grands et sans filaments.

Affinités. — Ce genre appartient évidemment à la famille des Tristomidés par l'ensemble de son organisation. Il s'éloignerait au contraire considérablement de cette famille, si l'on n'avait égard qu'aux caractères extérieurs; tant il est vrai que les caractères extérieurs ne reproduisent pas toujours la structure de l'animal. Au lieu de découvrir trois ventouses comme on en observe dans la plupart des genres de cette famille, on n'en trouve presque pas du tout, à tel point que l'on croirait voir un ver mutilé, si on n'avait été à même d'observer des individus vivants et en place. C'est la peau au milieu de l'échancrure postérieure du corps qui se prolonge en une espèce de godet pour servir de ventouse. On ne distingue pas plus cet organe d'adhésion dans les individus conservés dans la liqueur que dans les animaux vivants. On reconnaît la ventouse parce que c'est par elle que l'adhésion s'effectue.

Il n'y a pas plus de crochets chitineux que de ventouses.

Malgré ces différences extérieures, c'est encore à côte du genre *Tristoma* que ce nouveau genre doit être placé. C'est un Tristome sans ventouses à la bouche et sans ventouse rayonnée permanente en arrière.

EXPLICATION DE LA PLANCHE II.

(*Pseudocotyle Squatinæ*, nov. gen. et nov. sp.)

Fig. 1. Ver complet, vu par sa face inférieure, amplifié cinq fois. A côté, on voit la grandeur naturelle. Il est complétement étendu.

— 2. Le même ver du même côté montrant les mêmes organes en place, avec la partie postérieure du corps légèrement repliée en dessous. Par là on n'aperçoit pas la ventouse postérieure.

— 3. Le même, amplifié davantage, étendu comme dans le numéro 1, mais avec les bords en arrière légèrement repliés. On aperçoit en avant l'orifice de la bouche, plus bas, le bulbe buccal, puis l'œsophage et les deux tubes intestinaux, celui de droite montrant seul les cœcums ramifiés. A gauche, on voit tout l'appareil vitellogène en place,

la commissure et le vitellosac. A gauche du vitellogène opaque est situé le germigène, qui est précédé de l'ootype. Entre les deux tubes digestifs et les vitelloductes, on voit le spermigène, formé d'un grand nombre de vésicules, qui aboutissent à un spermiducte commun, faiblement indiqué dans cette figure. Derrière l'œsophage se trouve le penis. A la partie postérieure du corps, la peau forme une ventouse.

Fig. 4. La partie antérieure du même ver, encore dans la même situation, mais comprimé et amplifié pour montrer l'arrangement des divers appareils.

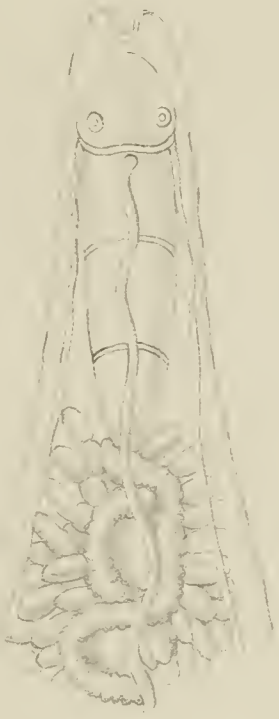
a. Orifice buccal.
b. Bulbe du même nom, que l'on a pris quelquefois pour un estomac.
c. OEsophage.
d. Tube digestif.
e. Cœcums ramifiés.
f. Vitellogène sous la forme de grappes.
g. Vitelloducte.
h. Commissure des vitelloductes.
i. Canal aboutissant au vitellosac.
j. Vitellosac.
l. Germigène.
m. Germiducte.
n. Ootype.
o. Spermigène.
p. Spermiducte.
q. Penis.
r. Les vésicules contractiles par lesquelles le produit des canaux urinaires est évacué. Les parois en changent constamment la capacité.
s. Leur orifice.

— 5. La partie postérieure du corps montrant comment la ventouse se forme. En avant, on distingue une partie du vitellogène et du spermogène en place.

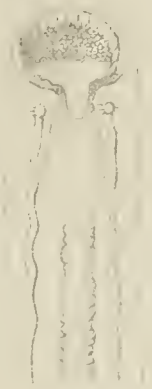
— 6. La même partie postérieure du corps montrant la ventouse sous un autre aspect. On distingue sur le bord les papilles qui recouvrent la peau à sa face supérieure.

— 7. Un œuf isolé.

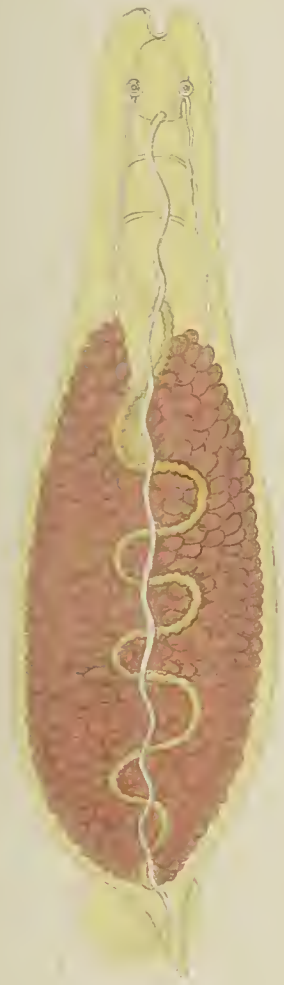
3.



4.



5.



1.

8.

9.

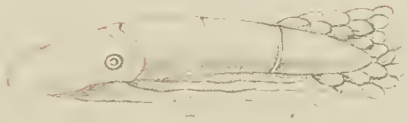
11.

6.

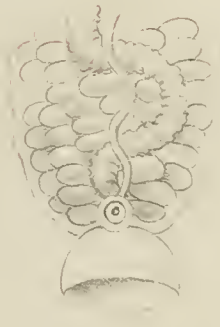
2.

10.

12.



7.



13.

BRITISH MUSEUM
NATURAL HISTORY

4.

2.

3.

1.

5.

6.

7.

BRITISH MUSEUM
NATURAL HISTORY

MÉMOIRE

SUR

LES LOMBRICINS,

PAR

M. D'UDEKEM,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE, DOCTEUR EN SCIENCES NATURELLES ET EN MÉDECINE.

PREMIÈRE PARTIE.

(Memoire présenté à l'Académie royale de Belgique, le 10 janvier 1863.)

INTRODUCTION.

Le but du mémoire que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie est de tracer l'état actuel de la science des lombricins, tant sous le rapport de l'organisation que de la classification et de la description des espèces.

J'ai emprunté à M. Siebold le nom de *lombricins* pour désigner les animaux que Cuvier appelait *annélides, sétigères abranches,* et Grube, *oligochætes.*

J'ai préféré le nom de *lombricins,* parce qu'il dérive de *lombric,* dénomination de l'espèce la plus anciennement connue et à laquelle elle est donnée dès la haute antiquité.

Il y a quelques années à peine, l'histoire des lombricins contenait beaucoup de lacunes. Le lombric seul a été l'objet d'études suivies, comme l'atteste la longue suite des auteurs qui s'en sont occupés. Les autres espèces, à peine connues, étaient mal déterminées, ce qui rendait leur histoire très-obscure.

Les nombreuses difficultés que je rencontrai en commençant mes recherches me firent prendre la résolution de me borner à mes propres observations, tout en vérifiant avec soin ce qu'avaient avancé mes devanciers.

Mes observations eurent d'abord pour objet le genre *Tubifex.* Je crois avoir démontré le premier dans tous ses détails l'organisation de ce curieux

animal, et avoir, le premier aussi, déterminé le rôle des organes sécréteurs, placés par paires dans les anneaux des lombricins et considérés comme des organes respiratoires. Mes recherches portèrent surtout sur les organes génitaux et sur leur développement, qui n'étaient pas connus jusqu'alors.

Les plus singulières idées régnaient dans la science au sujet de ces organes. Les erreurs commises par Home, répétées par Montègre et Cuvier et renouvelées par Morren, n'avaient jamais été combattues que par Dugès, qui a entrevu les organes génitaux, mais sans les comprendre; cependant il a condamné les erreurs de ses devanciers.

Dans mon *Mémoire sur le développement des lombrics*, j'ai démontré les véritables fonctions des différentes parties des organes génitaux, et j'ai cherché à faire connaître leur structure intime. L'hermaphrodisme des lombrics, nié par quelques auteurs, je l'ai prouvé par la découverte des ovaires. Dans ce travail, j'ai donné, comme terme de comparaison, une description des organes génitaux des *Naïs*, des *Enchytreus*, des *Choetogaster*, qui n'étaient pas connus des naturalistes. Dans d'autres publications, j'ai décrit plusieurs espèces nouvelles de lombricins, et j'ai réuni dans une classification nouvelle les espèces mentionnées par les auteurs. Enfin, dans une notice, j'ai fait connaître aussi l'organe génital si simple du genre *OEolosoma*.

Il existait dans mon travail sur les organes génitaux des lombrics une lacune : M. Hering l'a comblée par la découverte des oviductes.

Depuis mes dernières publications, le célèbre naturaliste suisse, M. Claparède, a entrepris des études sur quelques genres de lombricins encore inconnus. Les deux mémoires qu'il a publiés sur ce sujet sont de nature à éclaircir beaucoup l'histoire des vers qui doivent être réunis aux lombricins. Schmarda, dans un magnifique travail où sont contenues d'immenses richesses, fruit d'un voyage autour du monde, nous a fait connaître des genres entièrement nouveaux, représentant les lombrics des régions tropicales.

Je crois donc que le moment est venu de présenter le résultat général de mes observations sur les lombricins.

Toutes mes observations ont porté jusqu'à présent sur les espèces habitant la Belgique. Je compte les compléter par la dissection d'espèces tropicales qu'un ami a bien voulu m'envoyer de Java.

Mon mémoire se composera de plusieurs parties.

Dans la première, je donnerai la description des caractères généraux, de l'organisation des lombricins, considérés dans leur ensemble; j'y traiterai ensuite de la place qu'ils doivent occuper dans la série animale; de leur classification, et puis du genre lombrics, dont je donnerai l'anatomie, la physiologie et le développement dans tous ses détails. Dans une seconde partie, je m'occuperai des genres voisins des lombrics appartenant à la même famille. Enfin, dans une troisième partie, je ferai l'histoire des familles des tubifécidés, des enchytricidés et des naïcidés.

MÉMOIRE

SUR

LES LOMBRICINS.

PREMIÈRE PARTIE.

CLASSIFICATION.

Dans la classification de Linné, les lombricins ne sont représentés d'abord que par le seul *Lumbricus terrestris*. Gmelin, en revisant la classification de son maître, y ajouta quelques espèces. Les lombrics étaient réunis aux vers intestinaux, qui étaient divisés en vers vivant dans l'intérieur des animaux et en vers qui vivent à l'extérieur des animaux : ils se trouvent naturellement dans cette dernière division.

Cuvier, dans ses classifications successives, plaça d'abord les lombrics avec les vers à sang blanc; mais, reconnaissant bientôt son erreur par la découverte du système circulatoire et la couleur du sang, il les rangea parmi les vers auxquels il donna pour caractère une moelle noueuse et point de membres articulés.

Enfin, dans sa troisième classification, il fit entrer les lombricins dans la classe des annélides. Les annélides de Cuvier comprennent trois ordres : les *tubicoles,* les *dorsibranches* et les *abranches.*

C'est dans ce dernier ordre que les lombricins étaient placés à côté des sangsues.

Cuvier réunit heureusement les lombrics au naïs dans le groupe des abranches sétigères apodes, en créant les familles des lombrics et des naïdes.

Lamarck débuta également en réunissant les lombrics aux vers intestinaux ; mais il modifia, dans la suite, ses classifications, et, à l'exemple de Cuvier, il plaça les lombricins parmi les annélides. Les annélides de Lamarck renferment trois divisions : les *apodes*, les *antennées* et les *sédentaires*. Les lombrics furent rangés parmi les apodes avec les hirudinées et les échiures.

Mais Lamarck commet une grande erreur en classant les naïs et les tubifex dans la famille des hispidules, qui sont réunis à la classe des vers.

Milne Edwards et Deshayes, lorsqu'ils publièrent l'ouvrage de Lamarck sur les animaux sans vertèbres, modifièrent cette classification et réunirent dans une même division, sous le nom de *terricoles*, les lombrics, les tubifex et les naïs.

Savigny distribua ses annélides en quatre divisions : les *néréides*, les *serpules*, les *lombricines* et les *hirudinées*.

C'est ici qu'apparaît pour la première fois le nom de *lombricins* appliqué au groupe entier.

Les lombricines de Savigny contenaient les deux familles des échiures et des lombrics. Pour donner un autre nom au genre, il proposa, pour les lombrics, celui d'*entérion*, qui n'a été adopté par personne.

Oken classa les lombrics parmi les vers qui se trouvent à la tête de la troisième division des animaux intestinaux, dans le groupe des animaux respiratifs.

Blainville, fidèle à ses principes de classification, rangea les lombrics d'après leurs caractères extérieurs, prenant pour caractère dominant la présence ou l'absence des soies. Il réunit les lombricins aux annélides et les sépara des hirudinées, qu'il relégua avec raison plus loin parmi les vers.

Ehrenberg classa les lombrics au nombre des articulés, dans la cinquième division, les *Stomatoma*.

Tous les classificateurs qui suivirent ceux dont je viens de parler placèrent les lombricins parmi les annélides.

Milne Edwards, à l'exemple de Cuvier, laissa réunies les deux familles

des naïdes et des lombricins en un ordre, sous le nom d'*annélides sétigères abranches.*

Siebold divisa les annélides en deux ordres, les *apodes* et les *chœtopodes.*

Le premier ordre comprend les *némertiens* et les *hirudinées;* le second est divisé en trois sous-ordres, les *lombricins,* les *céphalobranches* et les *dorsibranches.*

Le sous-ordre des lombricins renferme les genres *Lombricus, Naïs, Chœtogaster, Lumbriculus, Euaxes, Soenurus, Enchytreus, Sternopsis.*

Siebold est le premier auteur qui ait bien compris le groupe des lombricins.

Grube, dont les nombreux travaux ont tant fait avancer la science des annélides, classa ces animaux en cinq ordres :

1° Les *Appendiculata polychoeta,* qui comprennent tous les annélides proprement dits;

2° Les *Cymnocarpa,* qui ne sont composées que du seul genre *Tomoptheris;*

3° Les *Oxyphora,* qui renferment le seul genre *Peripatus;*

4° Les *Oligochoeta,* qui sont les lombricins de Siebold.

La classification de Grube a le tort d'avoir assigné à ces groupes des noms barbares qui ne disent rien à l'esprit. En histoire naturelle, beaucoup d'auteurs ont cette triste manie de vouloir inventer des noms nouveaux et de jeter ainsi de l'obscurité dans la science.

Vanderhoeven réunit les *lombricins* et les *annélides proprement dits* pour former l'ordre des *Annulata.* Les lombricins sont distingués des *annélides* par l'absence des branchies, et des *turbellariées* par la présence des soies. Les lombricins sont divisés par Vanderhoeven de la même manière que par Siebold.

M. de Quatrefages, dans un magnifique travail, démontre clairement que les *lombricins* doivent être séparés du groupe des *hirudinées;* que ces deux groupes forment chacun une classe. Il donne le nom d'*érythrène* aux *lombricins* et celui de *bdelle* aux *hirudinées.* Il démontre, avec beaucoup de raison, que ces classes doivent être séparées des *annélides proprement dits* et des *malacobdelles.* Les lombricins et les bdelles ont les sexes réunis; les annélides et les malacobdelles les ont séparés.

J'admets entièrement l'opinion de M. de Quatrefages et je crois que la sé-

paration ou la réunion des sexes est le caractère fondamental qui différencie les *lombricins* et les *annélides*.

M. Van Beneden, dans son type des *vers* de l'embranchement des *allocotyles*, a créé, sous le nom d'*annélides*, une classe séparée qui renferme les annélides proprement dits, les céphyriens et les siponcles. L'ordre des annélides est divisé par M. Van Beneden en trois sous-ordres, les *céphalobranches*, les *dorsibranches* et les *abranches;* ces derniers sont les lombricins. Ce caractère est inexact ainsi que le nom d'*abranche;* car plusieurs naïs portent de véritables branchies, comme je l'ai démontré suffisamment. J'admets avec M. Van Beneden la classe des annélides telle qu'il l'a établie, seulement je donne pour caractère à ces annélides abranches d'avoir les sexes réunis et aux annélides dorsibranches et céphalobranches d'avoir un sous-ordre.

J'examinerai comment les lombricins ont été divisés en familles. Je m'abstiendrai cependant de donner une énumération complète de toutes les classifications établies par les auteurs. En général, elles sont fondées sur une connaissance très-incomplète de l'organisation des principales espèces. Je ne parlerai donc ici que de la classification de Grube, de la mienne, proposée en 1853 (*Bulletins de l'Acad. roy. de Belgique*, t. XX, 1853), et de celle de Claparède, proposée récemment.

Grube divisa le groupe des oligochœtes (lombricins) en deux familles, *les lombricinées* et *les naïdines*. Les caractères différentiels des deux familles sont trop incertains pour servir de base à une bonne classification naturelle : l'absence ou la présence de coloration du sang, la plus ou moins grande simplicité du système circulatoire, la fréquence ou l'absence des soies capillaires, la simplicité relative des organes génitaux, tout ces caractères ne méritent aucune considération; aussi ne les ai-je indiqués que pour montrer leur peu de valeur.

Après avoir étudié attentivement ces organisations si compliquées sur les espèces de lombricins qui habitent la Belgique, j'ai démontré, le premier, la curieuse organisation des tubifex sur laquelle il n'existait qu'erreur et ignorance. Ce travail m'ouvrit le chemin pour découvrir l'organisation des organes des lombrics, des naïs, des chœtogasters et des œolosomes, ainsi que des enchytrées. Ces recherches ont été la base de ma classification. J'en ai donné

deux, et je déclare ici abandonner complétement la seconde, qui a été publiée dans les *Mém. cour. de l'Acad. roy. de Belg.*, t. XXVI, 1855, pour reprendre, dans toute son intégrité, la première, que j'ai indiquée dans les *Bulletins de l'Académie*, 1853, et c'est la classification basée sur les caractères les plus importants à mes yeux, c'est-à-dire les caractères tirés du mode de reproduction, les seuls qui ne varient pas.

Je divise d'abord mes lombricins en *agemmes* et *gemmipares*. Les premiers ne se reproduisent que par œufs; les seconds se reproduisent par œufs et par bourgeons.

La reproduction par gemmes et par œufs et la reproduction par œufs seulement établissent entre les deux espèces d'animaux des différences immenses. Les *agemmes* vivent presque tous dans la terre humide ou dans la vase; ils sont dépourvus de la faculté de nager, ne poursuivent pas leur proie, avalent pour toute nourriture de la terre humide chargée d'infusions végétales et animales; leurs formes sont lourdes, leur taille grande, leurs téguments solides.

Les gemmipares, au contraire, sont de charmants petits animaux, élégants et sveltes. Quand on les observe, ils n'inspirent pas le dégoût que la mucosité qui couvre les agemmes suggère à un grand nombre de personnes.

Les gemmipares sont de petite taille, quelquefois microscopiques, formés d'un petit nombre d'anneaux et vivent dans l'eau stagnante, courante, rarement marine; ils nagent au moyen des contractions du corps et du mouvement des soies. Les agemmes rampent; les gemmipares sont voraces, poursuivent leur proie avec ardeur, et le *Choetogaster diaphanus* est le plus grand destructeur d'infusoires et de crustacés microscopiques : ce sont les véritables carnassiers parmi les lombricins. Leur vie est vagabonde.

Une différence très-importante existe encore entre les agemmes et les gemmipares : les premiers portent constamment leurs organes génitaux, les derniers les portent seulement à certaines époques.

Je pense donc que ma division des lombricins en agemmes et en gemmipares est inattaquable. Depuis la publication de ma classification ont paru les belles et savantes recherches du naturaliste de Genève, M. Claparède. Ce savant a démontré que la famille des lombricins menace de s'étendre dans de grandes proportions. Moi-même je viens d'étudier des espèces exotiques dont

je donnerai bientôt la description. Il en résulte que les caractères des familles devront changer probablement dans la suite, quand l'organisation des nouvelles espèces sera plus connue.

En attendant une nouvelle classification, je conserverai la mienne, d'autant plus que, dans le nouveau *Handbuch der Zoologie*, MM. W.-C.-H. Peters, J.-V. Carus et C.-E.-A. Gerstaecker m'ont fait l'honneur de l'adopter.

Dans ma classification, je divise les agemmes en trois familles dont le nom est tiré des genres les plus importants : ce sont les *lombricidées*, les *tubificidées* et les *enchytricidées*.

Les caractères de ces familles sont, comme pour la première division, basés sur les modifications que présentent les œufs.

Les lombricidées possèdent des œufs microscopiques placés, après la ponte, dans une capsule et entourés d'albumen. Le développement du jeune dans la capsule se fait aux dépens de l'albumen et non du vitellus.

Les tubificidées ont des œufs très-volumineux, placés, après la ponte, dans une capsule sans albumen. Le développement de l'embryon se fait entièrement aux dépens du vitellus.

Les enchytricidées ont des œufs volumineux; il n'y a jamais qu'un seul œuf dans chaque capsule, et le développement du jeune se fait aux dépens du vitellus seulement.

Cette division en famille est certainement naturelle. Les lombricidées, par leurs mœurs, par leur aspect, par leur grandeur, par le développement énorme des téguments et du système circulatoire, s'éloignent considérablement des deux familles tubificidées et des enchytricidées. Ces deux familles diffèrent essentiellement. Les tubificidées sont élégants dans leur forme, semi-transparents, rapides dans leur marche, cherchant leur proie et sont continuellement en mouvement; sous ce rapport, les tubificidées se rapprochent des naïcidées. Les enchytricidées sont, par une exception unique, des vers de couleur blanche; leurs téguments sont très-solides et non transparents; ils ont la marche lourde, la locomotion inactive et vivent des années à la même place.

Il y a donc entre mes quatre familles des lombricidées — car la famille des naïcidées compose à elle seule la division des agemmes —, des différences

caractéristiques très-faciles à constater, et j'ai la conviction que, dans l'état actuel de la science, il serait difficile de trouver une meilleure classification. Je ferai un reproche à M. Claparède, quoique cependant je lui doive des remercîments pour la manière flatteuse avec laquelle il a traité mes travaux dans son beau travail sur les lombricins. Ce reproche c'est d'avoir admis les noms barbares de Grubes et d'avoir supprimé ceux que les lombricins et les naïs portaient depuis la naissance de la science naturelle.

Voici les caractères que M. Claparède donne à ces familles :

Première famille. — Oligochètes terricole.

Diagnose : Oligochètes à vaisseau ventral double, munis d'organes segmentaires qui renferment les oviductes, les canaux déférents et les réceptacles des semences; clitellium placé en arrière des pores génitaux; réseau vasculaire entourant les organes segmentaires.

Synonymie : Genres *lumbricus* Lin., *hypogeon* Sav., *criodilus* Hoffm.

Deuxième famille. — Oligochètes limicoles.

Diagnose : Oligochètes à vaisseau ventral unique, dépourvus des organes segmentaires qui renferment les oviductes et les canaux déférents; clitellium et ceinture comprenant toujours le segment porteur des organes mâles. Jamais de réseau ni d'anus vasculaires embrassant les organes segmentaires.

Les caractères qui divisent mes familles sont certainement plus importants et plus simples que ceux qui divisent les familles de M. Claparède. Toute ma classification du groupe est basée sur deux mêmes caractères : les modifications du développement et de l'œuf.

Ces caractères ont une importance qu'on ne peut nier, car mon professeur et ami M. Van Beneden les a employés pour la division générale du règne animal, et je crois qu'elle sera maintenue par les naturalistes.

BIBLIOGRAPHIE.

R. Aldovandus, Historia animalium, 1605.
Ray, Historia insectorum, 1628. Edita Lond., 1710.
Johnston, Historie van de natuur der gekorfde dieren, 1660, p. 145.
Willis, De anima brutorum.
Redi, De animalibus vivis qui in corporibus animalium vivorum reperiantur, 1708.
Blasius, Anatome animalium terrestrium variorum, volatilium, aquatilium, etc., 1681. Soixante planches.
Francius, Historia animalium, etc., 1688.
Paulini, De lombrico terrestris. Schideanna varias memorabilibus curiositatibus et observationibus illustratum, 1703.
Vandelli, Die aponi Thermis, de nonnullis insectis terrestribus et zoophytis terrae reproductione, atque tenia canis.
Ott.-Fréd. Muller, 1. Von Würmern des süssen und salzigen Wassers.
— — 2. Vermium terrestrium et fluviatilium, 1773.
— — 3. Zoologiae Danicae prodromus, seu animalium Daniae indigenarum species nomina, synonymia imprimis popularium.
— — 4. Zoologiae Danicae, seu animalium Daniae et Nowergiae rarius ac summa notorum icones, 1788.
Murray, De vermibus in lepro obricis, juncta lepros historia et lumbricorum setis observationes, 1789.
Bonnet, Traité d'insectologie, 1773.
Réaumur, Mémoires pour servir à l'histoire des insectes.
Fabricius, Fauna Groenlandica, 1780.
Cuvier, 1. Leçons d'anatomie comparée.
— 2. Leçons d'anatomie comparée, recueillies et publiées par Dumeril, Duvernoy et Laurillard, 1836-1844.
— 3. Règne animal.
Lamarck, 1. Système des animaux sans vertèbres.
— 2. Système des animaux sans vertèbres, revu et augmenté par Deshayes et Milne Edwards.
Blainville, 1. Dictionnaire des sciences naturelles.
— 2. Principes d'anatomie comparée.
Montègre, Observations sur les lombrics ou vers de terre (*Mémoires du Muséum*).
Home, Lectures of anatomy comparative, 1814.
Leo, Dissertation inauguralis de structura lombrici terrestris, 1820.
Léon Dufour, Annales des sciences naturelles, 1825 et 1828.
Sangiovanni, Ueber die Reproduction des Regenwurmes. (*Froriep Notiz*, 1824.)

Dugès, 1. Recherches sur la circulation et la respiration des annélides abranches. (*Ann. des sciences naturelles*, 1828.)
— 2. Nouvelles observations sur les annélides sétigères abranches.
Morren, Quaesitur descriptio structurae anatomicae et expositio structurae naturalis lumbrici vulgaris seu terrestris. (*Ann. Acad.*, Gand, 1820.)
Fitzinger, Ueber die Lombrici. (*Isis*, 1833.)
Trevesinanus, Lumbricus capitatus et lineatus. (*Tied. Zeitsch.*, 1835.)
Johnston, Ueber der Zeugung die Erdregen. (*Mag. nat. history.*)
Suriray, Notes sur quelques parasites et produits organiques des lombrics terrestres.
Boeck, Artsformer, of lumbricis terrestris. (*Isis*, 1843.)
Everman, Lumbricus noctilocus. (*Zeitsch. der Acad. zur Kennt.*)
Hoffmeister, Beiträge zur Kenntniss. der Duchersland Annelides. (*Arch. für Natur. Wiegm.*)
D'Udekem, 1. Mémoire sur le Tubifex rivulorum. (*Mém. de l'Acad. royale de Belgique.*)
2. Développement du lombric terrestre. (*Ibid.*)
3. Classification des annélides sétigères abranches. (*Bulletins de l'Académie royale de Belgique.*)
4. Classification des annélides sétigères abranches. (*Mém. de l'Acad. royale de Belgique.*)
5. Notice sur les organes génétaux des Æolosoma et Choetogaster.
E. Hering, Zur Anatomie und Physiologie der generatione Organe der Regenwürmer. (*Zeitschr. f. Wiss. Zool.*, Bd. IV, 1853.)
Claparède, 1. Recherches anatomiques sur les oligochètes, 1862.
2. Recherches anatomiques sur les annélides, turbellaires, opalines et grégarines.

LOMBRICINS.

CARACTÈRES GÉNÉRAUX.

Animaux à corps vermiforme annelé, anneaux séparés les uns des autres par des cloisons musculaires (muscles diaphragmatiques (*dessipement*, Clap.).

Plusieurs couches membraneuses forment les téguments externes.

Trois couches existent chez toutes les espèces, rarement un plus grand nombre.

Les trois couches sont :

1° La cuticule, membrane sans structure transparente, composée chimiquement de chitine;

2° Le derme, formé de cellules arrondies, transparentes et contenant un noyau;

3° La troisième couche musculaire, toujours composée de deux lames, l'une supérieure, à fibres circulaires, l'autre inférieure, à fibres longitudinales.

Il existe chez toutes les espèces des organes locomoteurs : les soies, qui sont des productions chitineuses solides, de forme simple, composées d'une seule pièce et naissant dans une glande particulière. Ces soies sont remplacées par de nouvelles, quand elles tombent, et mises en mouvement par des muscles dont l'ensemble forme une pyramide. Il existe aussi dans tous les anneaux du corps, excepté dans l'anneau céphalique et dans les anneaux qui présentent l'orifice, des organes génitaux et une ceinture.

Ordinairement, la disposition générale des soies est en lignes longitudinales, ventrales ou latérales; rarement les soies sont disposées en cercle autour de chaque anneau. La forme des soies varie : elles sont ou un peu développées, à extrémité acérée et le milieu renflé, ou bien elles sont capillaires, ou bien encore elles ont l'extrémité externe terminée soit en crochet simple, soit en crochet double.

Le système nerveux se compose d'un cerveau, d'une chaîne ganglionnaire abdominale, de nerfs périphériques et d'un grand sympathique.

Le cerveau présente ordinairement deux ganglions plus ou moins unis par une commissure médiane; toujours il se trouve au-dessus du pharynx et dans le premier anneau du corps.

La chaîne ganglionnaire se compose de deux bandes nerveuses occupant la face interne ventrale du corps. Au-dessus du tube digestif, dans chaque anneau, elle présente un double ganglion.

Les nerfs périphériques naissent du cerveau et des ganglions abdominaux, rarement des bandes nerveuses abdominales. Ils se terminent principalement, dans la membrane musculaire des téguments externes, sous forme d'un réseau

serré. Le nerf grand sympathique naît de la face postérieure du cerveau et du collier nerveux.

L'appareil de la circulation présente constamment un vaisseau dorsal qui longe la face supérieure du tube digestif, et un vaisseau, rarement deux, qui longe la face inférieure de ce tube intestinal.

Le vaisseau dorsal est toujours contractile : c'est le principal organe actif de la circulation; le mouvement a toujours lieu d'arrière en avant.

Les vaisseaux ventraux ne sont pas contractiles; ils représentent la veine cave des animaux supérieurs.

La communication entre les vaisseaux dorsaux et ventraux a lieu par des vaisseaux latéraux qui partent perpendiculairement de tous ou de quelques anneaux du vaisseau dorsal, pour se jeter en se divisant, ou bien sans division, dans le vaisseau ventral.

Quelques vaisseaux latéraux s'élargissent; des muscles se développent dans leurs parois; ils deviennent des cœurs et aident le vaisseau ventral dans les fonctions actives de la circulation.

Le réseau vasculaire n'existe que chez un petit nombre d'espèces.

L'appareil de la sécrétion urinaire existe chez tous les lombricins (*segmental organs*, W.). Il se compose d'une série de glandes en forme de tubes, placées symétriquement, dans presque tous les anneaux du corps, de chaque côté du tube digestif.

Ces glandes présentent une ouverture interne s'ouvrant librement dans la cavité périgastrique en forme d'entonnoir. Une ouverture externe existe à la face ventrale. La membrane interne de ces glandes est toujours munie de cils vibratiles très-longs.

Canal digestif toujours divisé en ligne droite, depuis le premier anneau du corps jusqu'au dernier.

La bouche s'ouvre sous le premier anneau ou en avant de celui-ci; l'anus s'ouvre au-dessous ou directement en arrière du dernier anneau. Dans le tube digestif, on trouve souvent deux divisions; la plus simple est celle en pharynx et en intestin, organe qui existe toujours. Quelquefois, mais rarement, il se montre une troisième division, l'estomac, qui présente une structure spéciale (lombric), ou bien une structure identique à l'intestin (tubifex, naïs, euaxes).

Le tube digestif est toujours pourvu de glandes solitaires et de glandes hépatiques; rarement d'autres glandes se trouvent sur le trajet de cet organe.

La fonction respiratoire s'exécute chez la plupart des espèces par les téguments externes, excepté chez les naïs, où l'extrémité anale du tube digestif se transforme en branchies.

Les organes génitaux sont toujours composés d'organes mâles, d'organes femelles et d'organes de copulation et de ponte.

Les organes mâles sont souvent unis aux organes femelles, rarement séparés (lombric). Les organes accessoires de la reproduction sont représentés par des vésicules séminales ou par une ceinture (organe de copulation) et quelquefois par des glandes particulières.

Les organes génitaux existent, pendant toute la vie, dans les familles des lombricidées, des tubificidées et des enchytricidées; ils fonctionnent constamment. Chez les naïcidées, leur existence est temporaire. Ces animaux se reproduisent par gemme. Ce mode de reproduction n'existe pas dans les autres familles des lombricins.

L'œuf, après la ponte, est toujours placé dans une capsule; sa disposition et sa taille varient suivant les familles.

Les lombricidées ont des œufs microscopiques; ils sont renfermés à plusieurs dans une même capsule et entourés d'albumen. Chez les autres familles, les œufs sont très-volumineux, atteignent quelquefois la largeur du corps. Ils sont renfermés à plusieurs dans une seule capsule chez les tubificidées, et chaque œuf possède sa capsule chez les enchytricidées et chez les naïcidées.

Il existe deux espèces de mode de reproduction chez les lombricins. Tous se reproduisent par œufs; les naïcidées seules par bourgeons.

Les lombricins habitent la terre humide, les eaux douces et les eaux salées. Ils sont répandus sur toute la surface de la terre; ils ont été observés sur tous les continents. Les plus grandes espèces habitent les contrées tropicales.

TÉGUMENTS EXTERNES.

Les téguments externes présentent une épaisseur très-variable, suivant les

genres. Très-fragiles et minces chez les *Naïs*, les *Choetogaster* et les *Æolosoma*, ils deviennent épais chez les lombrics et chez les enchytricidées.

La transparence des téguments présente tous les degrés parfaits chez les chœtogasters et chez la plupart des naïcidées; elle devient moins prononcée chez les tubificidées et entièrement opaque chez les lombricidées et les enchytricidées.

La structure des téguments varie très-peu. Ils se composent toujours au moins de trois couches. L'externe, ou cuticule, de composition chitineuse, est plus ou moins épaisse; elle est transparente, se détache très-facilement par la macération. Chez le lombric, la surface externe de la cuticule est striée dans deux sens par des lignes formant des losanges.

La cuticule est très-souvent couverte de petits épaississements arrondis, chez les naïs surtout, et ces épaississements sont surmontés d'aspérités minces et pointues quelquefois très-longues.

Ces productions de la cuticule se rencontrent en grand nombre à la partie antérieure du corps chez les naïs, surtout au premier anneau. Elles existent aussi sur le dernier anneau chez le *Choetogaster limnis;* elles sont développées au plus haut degré et couvrent presque tout le corps. Les aspérités sont également très-développées; il est probable qu'elles favorisent les fonctions du tact. La composition de ces aspérités est la même que celle de la cuticule, dont elles ne sont que des prolongements.

La deuxième couche de la peau est composée de cellules, c'est pourquoi je la nommerai *couche cellulaire*. Ces cellules sont sphériques, transparentes et contiennent un noyau. Elles ont toutes la même forme dans les différentes parties de la membrane, excepté chez les lombrics. Du pigment apparaît souvent dans la membrane cellulaire.

La troisième couche, ou couche musculaire, est le tégument principal, tant par son volume que par les fonctions qu'il exerce. Cette couche est toujours formée de deux plans, l'un supérieur, uniquement composé de fibres circulaires, l'autre inférieur, plus épais, en général, que le premier et à fibres plus fortes qui se dirigent vers un même anneau : elles peuvent être de même forme ou de forme différente dans le même faisceau (tubifex).

Considérés dans leur ensemble, les faisceaux de soies forment presque tou-

jours des lignes longitudinales le long des faces ventrales ou latérales du corps. Ces lignes varient en nombre : on en voit tantôt deux, tantôt quatre ou plus. Chez les périchètes, les soies sont très-nombreuses et forment un cercle complet autour de chaque anneau : j'en ai compté soixante-quatre dans un seul anneau. Les soies sont placées dans un sac musculaire, au fond duquel se trouve une glande qui sécrète des cellules longitudinales.

D'après M. Claparède, chez quelques lombricins, la couche musculaire ne serait pas continue; chez le *Pachydrilus*, elle forme six grands faisceaux, séparés les uns des autres par des sillons. Il en est de même chez quelques genres voisins.

La couche musculaire, par les contractions de ses fibres, constitue le principal organe locomoteur.

Les soies sont symétriquement disposées à la surface du corps; elles se présentent de la même manière dans chaque anneau. Elles manquent toujours au premier anneau et quelquefois aux anneaux qui portent les organes génitaux.

La forme des soies varie, mais peu; elle est toujours formée d'une seule pièce; elle est allongée en forme de cheveu (*soies capillaires*) chez les *Naïs*, les *Tubifex* et les *Æolosoma*. Elle a la forme d'un clou chez l'*Enchytreus;* elle est légèrement courbée en S et renflée au milieu, comme aux deux extrémités, chez les lombricidées et les euaxes. L'extrémité externe est souvent fourchue.

Les soies sont composées de chitine, comme la cuticule; elles sont isolées ou réunies à plusieurs et d'un volume considérable; elles présentent une membrane externe transparente, un noyau avec nucléole et des granulations très-fines dans l'intérieur. Les soies naissent dans ces cellules et y restent assez longtemps contenues en distendant les parois de cette cellule. Les faisceaux de soies sont mus par des muscles particuliers qui prennent naissance au sommet du sac générateur et s'étendent de là, dans toutes les directions, vers les téguments. L'action simultanée de ces muscles fait saillir les soies, et leur mouvement isolé peut faire agir celles-ci dans tous les sens.

SYSTÈME NERVEUX.

Le système nerveux est tracé sur le même plan chez tous les lombricins. Il se compose d'un cerveau, d'une chaîne ganglionnaire abdominale, de nerfs périphériques et d'un nerf grand sympathique.

Le cerveau est constamment composé de deux lobes. Ces lobes sont ordinairement accolés dans une grande partie de leur surface interne, rarement ils sont complétement séparés : ce fait se présente, par exemple, chez le *Choetogaster*. Une commissure unit les deux lobes d'un cerveau.

La chaîne ganglionnaire abdominale naît par deux bandes nerveuses qui partent des bords externes des ganglions cervicaux, contournent l'œsophage et se réunissent sur la face supérieure des téguments ventraux du corps. L'accolement de ces deux bandes nerveuses se fait le plus souvent dans le second anneau; rarement elles restent séparées dans quelques autres, comme chez les *Choetogaster;* néanmoins il y a dans chaque anneau une commissure entre les deux ganglions.

Sur les trajets des bandes nerveuses, dans chaque anneau du corps, se trouve un ganglion à droite et à gauche de chacun de ces organes.

Les nerfs périphériques naissent du cerveau et des ganglions de la chaîne abdominale; ils naissent aussi du collier œsophagien et rarement directement des bandes nerveuses, comme chez les lombrics.

Les nerfs se divisent en réseaux très-minces et se perdent entre les deux couches musculaires des téguments et dans les muscles des faisceaux des soies et des glandes urinaires.

Le grand sympathique existe chez les lombricins, c'est-à-dire chez les espèces où il a été observé; il naît, par plusieurs racines, de la face postérieure du cerveau, et de l'anneau œsophagien par un assez grand nombre de racines. Il forme un plexus serré et parsemé de ganglions sur le pharynx d'abord, puis s'étend en plexus et en filets très-minces sur tout le tube digestif.

Quant à la structure, le système nerveux se compose essentiellement de globules de ganglions, de fibres nerveuses et de tissu cellulaire. Les globules des ganglions présentent ordinairement la forme ronde ou allongée; ils

donnent naissance aux fibres nerveuses; ils contiennent un noyau volumineux et des granulations. Les globules des ganglions ne se trouvent que dans le cerveau et dans les ganglions sous-abdominaux.

Les fibres nerveuses sont minces; elles ont la forme ordinaire et sont réunies entre elles par du tissu cellulaire. Un névrilème, entièrement formé de tissu cellulaire, entoure étroitement tout le système nerveux d'une gaîne solide et le fixe aux téguments.

ORGANES DES SENS.

Il n'existe chez les lombricins que l'organe du tact.

Toute la peau exerce cette fonction avec une grande énergie. Cependant, chez plusieurs espèces, l'organe du tact est plus limité et doit être considéré comme un prolongement qui se trouve à l'extrémité du premier anneau du corps. Là les téguments sont plus délicats, les nerfs très-nombreux et venant de la face antérieure du cerveau. Chez plusieurs espèces, il existe en cet endroit un prolongement qui se remarque déjà chez les lombrics et qui devient plus long chez les euaxes et les tubifex; il atteint une grande longueur chez plusieurs naïs. La *Naïs proboscidea* doit son nom à ce prolongement en forme de trompe. L'endroit où le tact a lieu est le plus souvent parsemé de ces petites aspérités cuticulaires dont j'ai déjà parlé; elles sont visibles surtout chez les naïs.

MUSCLES.

Outre la couche musculaire sous-cutanée et les muscles qui font mouvoir les faisceaux de soies, il existe encore chez les lombricins des muscles importants. Ces muscles sont d'abord ceux que j'appellerai *diaphragmatiques* et ceux qui font mouvoir quelques parties du tube digestif.

Les muscles diaphragmatiques sont des muscles qui séparent les anneaux les uns des autres et qui produisent cet aspect annelé propre aux lombricins.

Ils sont formés de fibres transverses et de fibres circulaires. Ils naissent des téguments externes dans la couche musculaire et enveloppent exactement le tube digestif, les vaisseaux longitudinaux et le système nerveux. Ils servent quelquefois de soutien aux organes urinaires.

On pourrait presque les considérer comme des dédoublements de la couche musculaire sous-cutanée.

Leur fonction consiste surtout à maintenir les organes internes et de produire des contractions ondulatoires pour la marche et pour la reptation.

TUBE DIGESTIF.

Le tube digestif s'étend en ligne droite du premier anneau du corps jusqu'au dernier.

L'ouverture antérieure, ou la bouche, est ordinairement transversale et munie de lèvres solides très-mobiles. Elle est située à l'extrémité du premier anneau, mais plus souvent à la face inférieure de cet anneau.

Le tube digestif varie peu chez les lombricins. Il se compose constamment de deux parties au moins, le pharynx et l'intestin; plus rarement on trouve un estomac et un œsophage. L'estomac présente, mais seulement dans la famille des lombricidées, une organisation différente des autres parties du tube digestif.

Certains lombricins ne présentent que des dilatations stomacales de l'intestin. Des glandes sont toujours annexées au tube digestif; les glandes salivaires et hépatiques le sont chez tous.

Les glandes salivaires ont la forme de grappes et les glandes hépatiques celle d'utricules. Il existe encore quelquefois des glandes œsophagiennes, chez les lombrics, par exemple; elles sont très-développées dans les périchètes.

La structure histologique du tube digestif est partout la même.

Trois couches membraneuses forment les parois du tube digestif.

La couche glanduleuse est supérieure; elle est formée de glandes salivaires sur le pharynx et de glandes hépatiques sur le restant du tube digestif.

La couche musculaire est moyenne, quant à sa situation; elle est solide et formée de deux plans de fibres, le supérieur de fibres circulaires, l'inférieur de fibres longitudinales.

La couche épithéliale est la plus interne; elle est mince, délicate, ordinairement formée de grandes cellules à cils vibratiles; chez les lombricidées, elle est privée de cils et l'épithélium est en pavés.

GLANDES.

Les glandes présentent un grand développement chez les lombricins. Elles se distinguent par la constance de leur présence et par le peu de modifications de leurs formes.

Les glandes se divisent en glandes urinaires et en glandes annexées au tube digestif. Ces dernières, dont je viens de donner la description, sont les glandes salivaires et les glandes œsophagiennes.

Les glandes salivaires seront décrites ici pour la première fois. Je les ai découvertes chez les lombrics et constatées ensuite chez tous les lombricins que j'ai examinés en grand nombre. On a parlé vaguement de glandes salivaires, mais aucun naturaliste n'en a donné une description. Elles sont en forme de grappes. Les derniers globules contiennent de grandes cellules qui sont bien caractéristiques pour les personnes qui ont étudié les glandes salivaires.

Les glandes hépatiques sont ordinairement de couleur brune, ont la forme d'utricule ou sont arrondies et contiennent des granules fines colorées en brun ou en noir.

M. Claparède et d'autres naturalistes ont mis en doute les fonctions de ces organes, en s'appuyant sur ce que ces organes sont souvent annexés aux vaisseaux sanguins. Quant à moi, je ne doute nullement de la nature de la fonction de ces glandes, et leur présence sur les vaisseaux sanguins est une preuve à l'appui de mon opinion. Nous savons tous maintenant que les fonctions les plus importantes du foie ne sont pas d'aider la digestion, mais de modifier le sang, d'y introduire du sucre, comme les belles expériences de

Claude Bernard l'ont suffisamment démontré. Il est certain en outre que le foie joue un rôle immense dans l'organisation, qu'il existe chez la plupart des animaux connus et chez tous les animaux supérieurs; pourquoi donc penser que des animaux aussi compliqués que les lombricins en seraient privés?

Les glandes œsophagiennes sont très-remarquables; je ne les ai observées que chez quelques espèces exotiques de la famille des lombricidés. Elles prennent un développement extraordinaire; elles sont formées de tubes simples ou ramifiés et de cellules contenues dans ces tubes.

Les glandes urinaires ont été déterminées pour la première fois dans mon mémoire sur le *Tubifex rivolorum*. Elles existent chez tous les lombricins. On leur a donné le nom d'*organes segmentaires*, parce qu'elles se trouvent placées par paires dans tous les anneaux du corps. Je préfère le nom qui indique la fonction.

Les glandes urinaires présentent une forme tubulaire et sont pourvues d'une ouverture externe et d'une ouverture interne. Cette dernière se dilate en forme d'entonnoir. L'ouverture externe s'ouvre sur la face ventrale du corps, au sommet d'une légère élévation.

Les tubes urinaires sont composés histologiquement de trois membranes : la membrane externe sans structure apparente, la membrane moyenne musculaire et la membrane interne épithéliale à cils vibratiles, longs et surtout développés à l'ouverture interne.

La glande entière est soutenue par une espèce de péritoine formé par un repli de la membrane externe.

Les tubes glanduleux présentent le plus souvent la même largeur dans toute leur étendue. Chez la famille des lombricidés, la partie inférieure du tube se dilate, sa couche musculaire augmente en cet endroit et l'épithélium vibratile disparaît : cette partie de la glande est alors transformée en une vésicule de dépôt ou de vessie urinaire.

Les glandes annexées aux organes génitaux varient suivant les différentes espèces. La ceinture, qui existe chez tous les lombricins et qui est un organe de copulation, a une structure glanduleuse : elle est formée d'utricules à noyaux.

ORGANES DE LA CIRCULATION.

Les organes de la circulation du sang existent constamment dans le groupe des lombrics. Le sang se meut dans un système de vaisseaux entièrement fermés.

Les vaisseaux se divisent en vaisseaux dorsaux, ventraux et latéraux; quelquefois en vaisseaux latéraux pour former des cœurs.

Le vaisseau dorsal, toujours unique, est l'organe actif de la circulation. Il est situé sur la face dorsale du tube digestif et est presque toujours intimement uni avec ce dernier. Le vaisseau dorsal présente des contractions énergiques qui dirigent le sang qu'il contient d'arrière en avant.

Il existe ordinairement un vaisseau ventral, rarement deux (lombricidés); il est parallèle au vaisseau dorsal et se trouve placé au-dessous du tube digestif.

Il y a une communication directe entre les vaisseaux dorsaux et ventraux par des vaisseaux latéraux, qui peuvent se trouver dans tous les anneaux du corps ou être limités seulement à quelques-uns. Ces vaisseaux latéraux restent indivis, ou bien se divisent en branches chez les lombricidés ou en réseaux capillaires.

Les vaisseaux latéraux se dilatent quelquefois dans certains anneaux; leur paroi musculaire s'épaissit, et ils deviennent les organes actifs de la circulation de véritables cœurs.

Les vaisseaux présentent dans leurs parois trois couches : l'une externe sans structure, transparente; la moyenne musculaire a deux plans de fibres, l'un, le supérieur, à fibres circulaires, et l'autre, l'inférieur, à fibres longitudinales.

Les lombricins présentent presque tous les degrés de complication du système circulaire limité au vaisseau dorsal et au vaisseau ventral chez les *Æolosoma* et les *Pachydrilus*. Ils se compliquent beaucoup chez les lombricidés.

Le sang est toujours dépourvu de globules. Il est de couleur variable : ou rouge vif, orange, jaune, rose ou complétement incolore.

LIQUIDE PÉRIGASTRIQUE.

Le liquide périgastrique joue un rôle très-important dans la nutrition et doit être comparé au sang des animaux supérieurs; il contient toujours des globules de forme cellulaire qui varient selon les espèces. Ce liquide est ordinairement transparent, onctueux; chez les lombricidées, il est laiteux et contient une multitude de petits corps pourvus d'un mouvement amibiforme.

ORGANES RESPIRATOIRES.

En général, les lombricins sont privés d'organes respiratoires; ils existent seulement dans les genres des naïcidées.

Ces organes sont placés à l'extrémité postérieure, qui est élargie et forme une espèce d'éventail; l'anus est très-dilaté et se confond avec l'élargissement; la membrane vibratile de l'intestin s'étend sur la surface interne de cet élargissement. Sur cette surface se trouvent quatre lobes également couverts de cils; ces lobes reçoivent des vaisseaux et peuvent se replier sur eux-mêmes ou s'étendre à la volonté de l'animal.

Chez les naïs, en général, l'extrémité inférieure de l'intestin se dilate; l'eau peut y pénétrer librement, et l'entrée de ce liquide est facilitée par des contractions alternatives d'avant en arrière et d'arrière en avant. Des cils vibratiles facilitent également la fonction respiratoire.

Chez les autres lombricins, la respiration s'exécute par la peau, principalement par celle de l'extrémité postérieure du corps; cela est surtout évident pour les tubifex, qui sont enfoncés dans le sable par l'extrémité supérieure, tandis que l'extrémité inférieure se balance constamment dans l'eau.

ORGANES GÉNITAUX.

Les lombricins sont tous hermaphrodites incomplets.

Les organes mâles sont, en général, intimement unis aux organes femelles; chez les lombricidées, ils sont séparés.

L'organe est composé le plus souvent de plusieurs testicules, disposés par paires.

Les conduits déférents ne communiquent jamais directement avec le testicule; ils sont en forme de tubes terminés par un entonnoir. Ils s'ouvrent à l'extérieur par des ouvertures séparées ou réunies avec celles des organes femelles.

La membrane interne des canaux déférents est toujours tapissée par des cils vibratiles. Les canaux déférents manquent chez les *Æolosoma*.

Les spermatozoïdes diffèrent de forme suivant les espèces; en général, ils sont grands, se développent par endogénie dans une cellule mère.

Les organes femelles sont constitués par des ovaires en forme de sac et par des oviductes ne communiquant pas directement avec les ovaires.

Les oviductes sont tubulaires; l'ouverture interne est terminée en entonnoir, et les ouvertures externes sont réunies ou séparées de celles des organes mâles.

Il y a des cils vibratiles sur la membrane interne des oviductes; ceux-ci manquent rarement.

Il existe chez les lombricins des organes accessoires des organes génitaux.

La vésicule séminale existe presque toujours; elle a la forme d'un sac.

La ceinture existe constamment; elle est formée par un tissu glandulaire et entoure le corps circulairement.

Les œufs sont, après la ponte, entourés d'une capsule. Parfois on en trouve plusieurs dans une même capsule, ou bien il n'y en a qu'un seul. Ils sont petits chez les lombricidées et entourés d'albumen dans la capsule. Chez tous les autres lombricins, les œufs sont très-volumineux.

REPRODUCTION.

La reproduction chez les lombricins a lieu de deux manières : la reproduction par bourgeon et la reproduction par œuf. La première ne se présente

que dans la famille des naïcidées; elle manque dans toutes les autres. La seconde existe chez tous.

Les *Lumbriculus* de la famille des tubificidées ont la faculté de pouvoir se briser et les fragments redevenir des animaux complets.

DÉVELOPPEMENT.

Le développement est direct chez les lombricins; il se fait aux dépens de l'albumen chez les lombricidées, et aux dépens du vitellus chez les autres lombricins. Il n'existe pas de métamorphoses.

Première famille. — *LES LOMBRICIDÉES.*

CARACTÈRES GÉNÉRAUX.

Corps vermiforme, annelé, cylindrique, quelquefois aplati, surtout à l'extrémité postérieure; anneaux nombreux exactement séparés par des cloisons musculaires solides; quatre rangées de faisceaux de soies ou même un plus grand nombre, quelquefois circulairement disposés autour de l'anneau.

Tube digestif droit, bouche au-dessous du premier anneau; estomac musculeux; intestin présentant un replis et couvert de glandes salivaires et œsophagiennes annexées au tube digestif. Anus terminal.

Appareil circulatoire très-développé, composé d'un vaisseau dorsal contractile, de deux vaisseaux ventraux, de cœurs latéraux contractiles et d'un réseau vasculaire dans tous les organes. Sang rouge vif.

Téguments externes faisant fonction d'organes respiratoires, qui manquent.

Organes urinaires très-développés, disposés symétriquement dans presque tous les anneaux.

Testicules disposés par paires et deux conduits déférents s'ouvrant sur la face ventrale du corps, après un assez long trajet.

Deux ovaires très-petits en forme de sac fermé, placés symétriquement et séparés des testicules.

Les oviductes, en forme d'entonnoir, ne communiquent qu'indirectement avec les ovaires; ils sont au nombre de deux.

OEufs microscopiques, après la ponte réunis à plusieurs dans une même capsule.

Il existe plusieurs vésicules séminales et toujours une ceinture, organe d'accouplement.

L'embryon se développe aux dépens de l'albumen, qui l'entoure dans la capsule.

Les lombricidées vivent dans la terre humide; on les trouve sur tous les continents. Ils sont nocturnes.

CLASSIFICATION.

La classification des lombricidées est plus facile à établir depuis que j'ai pu étudier les genres des pays étrangers et que le magnifique ouvrage de Schmarda nous a décrit et dépeint les belles espèces qu'il a rencontrées dans son voyage autour du monde.

Je puis admettre, en me fondant sur mes propres observations et sur celles de Schmarda, quatre genres bien caractérisés : les lombrics, les penthoscolex, les périchètes et les hypogéons; les voici avec leurs caractères :

Premier genre. — Lombric Lin.

Caractères. — Soies ventrales disposées en deux ou quatre séries. Les vers de ce genre vivent dans la terre humide.

Deuxième genre. — Penthoscolex Schmarda.

Caractères. — Quatorze séries de soies. Les vers de ce genre vivent sur les bords de la mer.

Troisième genre. — Périchète Schmarda.

Caractères. — Soies disposées en anneau autour du corps. Les vers de ce genre vivent dans la terre humide.

Quatrième genre. — Hypogéon Sav.

Caractères. — Des soies sur le dos, disposées en séries.

Genre LOMBRIC *Lin.*

LUMBRICUS Lin.

Caractères. — Corps vermiforme, annelé, soies simples, disposées par paires dans chaque anneau du corps, excepté dans le premier, et formant deux ou quatre lignes ventrales longitudinales.

Le mot de *Lumbricus* signifiait, anciennement comme aujourd'hui, *ver;* de là dans l'histoire les mots *lombriciforme* et *vermiforme.*

L'extrémité antérieure du corps s'amincit graduellement et se termine par un petit prolongement (prolongement céphalique). Ce prolongement présente, suivant les espèces, de notables différences dont nous tiendrons compte dans notre classification.

Le corps est ordinairement plus gros dans le tiers antérieur, généralement cylindrique en avant et aplati en arrière; les anneaux antérieurs sont plus grands que les anneaux postérieurs : ceux-ci diminuent graduellement à mesure qu'ils se rapprochent de l'extrémité postérieure.

La longueur du corps varie considérablement suivant les espèces, et dans la même espèce la taille varie par l'âge, selon les terrains que ces vers habitent et le degré d'humidité du sol.

La couleur de la peau varie très-peu chez les lombrics, cependant la localité influe, dans une certaine limite, sur la même espèce. Plusieurs espèces présentent des variétés de couleur qui paraissent subsister comme chez beau-

coup d'autres animaux. Quelques-unes présentent des individus qui varient du brun au vert.

HABITATION ET MOEURS.

Les lombrics habitent une grande étendue de terre, on les trouve presque partout sur le continent européen et dans l'Amérique du Nord. On n'a pas encore des données exactes sur les lombrics d'Asie, d'Afrique et d'Australie, mais l'examen des espèces que les voyageurs ont rapportées de ces pays fait supposer que les lombrics y sont représentés par des genres voisins.

Malgré les nombreux ennemis qui les poursuivent, les lombrics se reproduisent en grande quantité, surtout quand ils rencontrent des terrains convenables. Ces vers se plaisent dans un sol humide, ce qui les distingue surtout des annélides qui habitent la mer; quelques espèces paraissent aimer les rivages marins, mais la généralité préfère la terre humectée d'eau douce. Ils recherchent de préférence les terrains bien imprégnés d'humus, de matières végétales et animales en putréfaction; ils fuient les terres calcaires, ferrugineuses et sèches.

Les lombrics sont des animaux essentiellement nocturnes ou crépusculaires : ce n'est que pendant la nuit qu'ils ont l'habitude de quitter leurs sombres demeures, pour venir s'ébattre quand la rosée a humecté la terre.

C'est aussi la nuit que ces animaux se recherchent pour s'accoupler, depuis le mois de mai jusqu'en novembre.

Les lombrics creusent dans la terre des tubes dans lesquels ils habitent. Pour construire ces tubes, ils avalent la terre et viennent la rejeter au dehors sous forme d'excréments. Les petits monticules formés de cylindres de terre entortillés, que l'on rencontre si fréquemment, sont l'ouvrage des lombrics et indiquent leur présence.

Ils fortifient leur chemin souterrain par une secrétion cutanée dont ils cimentent les parois. Dans l'intérieur de ces canaux, les lombrics se meuvent avec beaucoup de facilité, en se servant de leurs soies comme de leviers.

La nourriture des lombrics se compose probablement des infusoires qui

habitent en si grand nombre les terres humides et les végétaux en décomposition.

Ils est probable, d'après la grande variété de taille que l'on trouve dans les différentes espèces de lombrics, qu'ils croissent très-lentement. La taille dépend aussi beaucoup des localités : une terre grasse et humide produira des lombrics d'une taille énorme, lombrics qui seraient restés petits et chétifs dans une terre aride.

Les lombrics sont poursuivis par un grand nombre d'ennemis, surtout par des oiseaux de l'ordre des échassiers, qui en font leur nourriture habituelle; on voit même ces oiseaux battre de leurs longs doigts la terre humide, pour forcer les lombrics à en sortir et à se livrer à eux. Plusieurs espèces de corbeaux leur font aussi une guerre active; enfin les taupes et d'autres insectivores souterrains en font également un grand carnage.

Mais si les lombrics sont attaqués par beaucoup d'ennemis venant du dehors, ils en nourrissent beaucoup d'autres encore dans leur sein.

Il est remarquable combien d'animaux parasites habitent ces vers : on a trouvé chez eux plusieurs espèces de grégarines, qui habitent de préférence les organes génitaux; il est bien rare d'ouvrir un testicule de lombric, sans y trouver une grégarine ou sa progéniture. C'est ce qui a donné lieu à ces singulières erreurs que j'ai signalées dans mon Mémoire sur le développement des lombrics.

Plusieurs espèces de nématoïdes habitent la partie inférieure du corps, la cavité périgastrique, ou même les organes urinaires. Enfin plusieurs espèces d'infusoires, même une espèce de rotifère, paraissent habiter leur intestin.

Plusieurs auteurs ont indiqué la singulière propriété que possède une espèce de lombric de devenir phosphorescent dans l'obscurité.

Morren rapporte, dans son bel ouvrage sur les lombrics, que les disciples d'Hippocrate avaient autrefois mis les lombrics en honneur dans la thérapeutique.

DESCRIPTION DES ESPÈCES.

La description des espèces est la question la plus difficile de l'histoire des

lombrics. Quand on interroge les auteurs qui se sont occupés de ce sujet, on se trouve dans un véritable dédale; aussi je pense que, pour les faunes de chaque pays, cette question est loin d'être résolue.

Je suis même persuadé que de nombreuses erreurs se sont glissées dans les descriptions des espèces, et qu'on s'est généralement basé sur des caractères dont l'importance n'est pas bien démontrée.

Il existe de grandes difficultés pour établir de bons caractères spécifiques : la taille, la couleur, le nombre des anneaux ne donnent pas des caractères certains; l'absence ou la présence de stries transversales sur les anneaux me paraît encore être un caractère bien douteux.

Des caractères d'une valeur plus grande me paraissent devoir exister dans la disposition des faisceaux de soies, dans le nombre des soies dans chaque faisceau et surtout dans la forme des soies que j'ai vue varier manifestement chez des espèces voisines.

La position de la vulve me semble aussi un caractère spécifique de grande valeur. Le nombre d'anneaux qu'occupent le pharynx et l'œsophage ainsi que la place qu'occupe l'estomac, sont des caractères qui n'ont pas encore servi, et qui rendraient probablement des services, puisqu'ils sont faciles à constater.

La place qu'occupe la ceinture est variable d'une espèce à l'autre, mais elle varie également dans une même espèce. Le nombre des anneaux composant la ceinture varie moins, mais il est quelquefois difficile de le déterminer. Je pense donc que, pour le moment, il est prudent de n'accepter que les espèces parfaitement bien décrites, et je dois avouer que je n'ai confiance que dans celles que Hoffmeister a fait connaître dans son remarquable travail : *Die bis jetzt bekannten Arten aus der Familie der Regenwürmer.*

J'ai eu l'occasion de vérifier, sur plusieurs espèces qui habitent la Belgique, la justesse de ces descriptions; aussi ne sortirai-je pas de son cadre pour le moment, tout en me réservant pour l'avenir l'étude des espèces que je pourrai rencontrer, soit dans mon pays, soit dans les pays voisins. J'engage les naturalistes à s'occuper chacun des espèces qui appartiennent à la faune de leur pays. C'est seulement par la comparaison des faunes qu'on arrivera à un résultat positif.

La description des espèces est donc basée sur les caractères suivants : taille, couleur, nombre approximatif et moyen des anneaux, longueur relative des anneaux, forme du corps, disposition du tubercule céphalique par rapport au premier anneau, disposition des ouvertures génitales mâles et femelles, position de la ceinture et nombre de ses anneaux, disposition des soies dans les faisceaux et dans leur ensemble sur toute la surface du corps, enfin forme des soies.

1. Lumbricus agricola, Hoffm.

Synonymie. — Lumbricus terrestris Lin. F. Muller, *fabricius.* (Morren.)
Eptenum Herculeum. Savig.
— Terrestre. Savig.
Lumbricus gigan. Dugès.

Corps de forme cylindrique légèrement aminci antérieurement, aplati postérieurement; cet aplatissement devient plus manifeste par la contraction. La longueur varie beaucoup suivant les localités; j'en ai mesuré qui atteignaient 26 à 29 centimètres; d'après Hoffmeister la longueur ordinaire serait d'un pied à 15 pouces; d'après Morren la longueur ne dépasserait pas celle d'un pied.

Le nombre des anneaux varie; en moyenne il est de 180. La ceinture, composée de 6-8 anneaux, s'étend du 29-30^{me} jusqu'au 36-38^{me} anneau. La vulve, placée au 15^{me} anneau, est très-marquée et entourée d'une auréole blanchâtre.

Le prolongement céphalique, quand il est étendu, prend la forme d'une massue; il se prolonge en arrière jusqu'à diviser entièrement le premier anneau.

Cette espèce est la plus grande de toutes celles qui habitent la Belgique et, d'après Hoffmeister, l'Europe.

La couleur varie assez suivant les localités où l'on trouve le Lombric agricola et la nature du terrain qu'il habite.

La couleur générale est assez uniforme, surtout à la face ventrale; cette couleur est de chair claire; la face dorsale et antérieure est foncée, brune,

bleuâtre; l'épiderme présente manifestement le reflet irisé qui varie du violet au bleu. La ceinture tranche par sa couleur plus claire sur les téguments; elle est jaune brunâtre, couleur de cuir.

Hoffmeister indique une variété que je n'ai pas eu l'occasion d'observer : l'épiderme serait plus irisée, la face ventrale jaune rouge; la ceinture plus rouge et le corps plus grêle. Cette variété habite les terrains arides. J'ai trouvé le *Lumbricus agricola* très-répandu aux environs de Bruxelles et dans tout le Brabant. On le trouve principalement dans les jardins bien fumés.

C'est l'espèce qui est la plus favorable à la dissection; aussi c'est elle qui m'a presque exclusivement servi pour étudier les organes génitaux, le développement, ainsi que l'organisation interne.

2. Lumbricus communis. — Hoffm.

Synonymie. — Lumbricus anatomicus. (Dug.).
Enterion Carneum. Sav.
— Caliginosum. Sav.
— Cyaneum. Sav.
— icterium. Sav.
Lumbricus Trapezoïdes. Dug.

Corps de forme cylindrique peu atténué antérieurement, très-peu aplati postérieurement et non rétréci; longueur variant suivant les variétés qu'on observe. Le nombre d'anneaux atteint en moyenne de 160 à 180.

Les soies sont légèrement courbées en S; l'épaississement est plus près de l'extrémité supérieure qui est aussi plus courbée que l'extrémité interne.

Ceinture composée de 6 à 8 anneaux, s'étendant du 26, 29, 30^{e} au 32^{e}, 34^{e} ou 36^{e} anneau. Vulve au 15^{e} anneau, très-marquée et entourée d'une auréole blanchâtre comme dans l'espèce précédente. Prolongement céphalique court, plus gros que dans le *Lumbricus agricola*, et ne s'étendant que sur la moitié ou le tiers du premier anneau. Au-dessous il est marqué d'un sillon longitudinal. Cette espèce est extrêmement commune en Belgique, et elle mérite véritablement le nom que Hoffmeister lui a donné. Hoffmeister indique le peu de constance des caractères de cette espèce. Je dois avouer que je n'ai pas trouvé qu'ils soient aussi variables qu'il le pense.

Hoffmeister indique les caractères suivants comme constants chez les variétés : absence du pigment rouge brun dans la peau du dos, entaille du prolongement céphalique vu au-dessus, grandeur et endroit occupé par la ceinture.

Les variétés indiquées par Hoffmeister sont les suivantes :

PREMIÈRE VARIÉTÉ.

Lumbricus communis cyaneus.

Synonymie. — Enterion Cyaneum. Sav.

C'est la variété la plus grande : ceinture plus épaisse que chez les autres variétés, commençant toujours au 30e anneau et comprenant 6 ou 7 anneaux. Vulve très-apparente, auréole très-blanche; corps cylindrique partout, un peu plus large à la ceinture. Couleur grise bleuâtre très-marquée, plus intense postérieurement; antérieurement la couleur rouge dépend du sang. Ceinture de couleur brune livide, un peu verdâtre, couverte de petits enfoncements. Bords très-marqués, on en compte facilement les anneaux. Nombre d'anneaux cent soixante à cent soixante et quinze. Prolongement céphalique large, conique; il divise le premier anneau jusqu'aux trois quarts, la moitié ou le tiers. Sillon inférieur apparaissant au sommet du prolongement qu'il divise.

Le corps est mou, très-muqueux. Ces animaux semblent préférer l'habitation des terres argileuses. Cette variété paraît sortir plus difficilement de la terre que les autres. L'accouplement paraît se faire sous terre.

DEUXIÈME VARIÉTÉ.

Lumbricus communis carneus, Hoffm.

Synonymie. — Enterion carneum. Sav.
— caliginosum. Sav.
Lumbricus trapezoïdes. Dugès.

D'après Hoffmeister cette variété, que je n'ai pas observée, serait plus

grêle et plus mince que la précédente. La couleur est rougeâtre, surtout dans les anneaux antérieurs. Ceinture moins marquée, commençant et finissant insensiblement, ordinairement composée de 9 ou 10 anneaux et commençant au 25^{me}, plus rarement au 23^{me} anneau. Vulve entourée d'une large auréole. — Prolongement céphalique aigu. Entaille du sommet peu distincte, s'étendant jusqu'à la moitié du 1er anneau. — Nombre moyen des anneaux, 150. Longueur moyenne, 2 à 3 pouces.

Cette variété habite de préférence les terres argileuses.

TROISIÈME VARIÉTÉ.

—

Lumbricus communis anatomicus, Hoffm.

Synonymie. — Lumbricus anatomicus. Dugès.
Enterium carneum. Sav.
Enterium icterium. Sav.

Par la taille cette variété se place entre les deux précédentes. Ceinture commençant au 26^{me} ou au 27^{me} anneau, comprenant 5 ou 6 anneaux de couleur brunâtre ou rouge jaunâtre quelquefois verdâtre. Couleur du corps plus grise que rouge, dans les terrains humides, elle est très-pâle et rougeâtre. Longueur du corps 4 à 5 ou 7 pouces. — On compte de 150 à 170 anneaux.

Cette variété change de grandeur suivant les localités.

J'ai trouvé en Belgique cette variété, qui est même assez commune aux environs de Bruxelles. Comme dit Hoffmeister, on la rencontre plus souvent dans les champs que dans les villes.

QUATRIÈME VARIÉTÉ.

—

Lumbricus communis luteus, Hoffm.

Cette variété, que j'ai également rencontrée en Belgique, est, comme l'indique Hoffmeister, teintée en jaune par une sécrétion abondante, sur-

tout dans les 30 derniers anneaux; près de l'extrémité postérieure, les anneaux présentent une tache de pigment rougeâtre. La ceinture s'étend du 29me anneau et en comprend sept. Elle est très-marquée et colorée en jaune. Vulve non visible. — Nombre des anneaux 124. Longueur moyenne, 2 1/2 ou 3 pouces.

D'après Hoffmeister, la teinte jaune de cette variété proviendrait du terrain où on la rencontre, qui est très-imprégné de substances ammoniacales. Cette couleur disparaît quand on place ces animaux dans une terre argileuse.

3. Lumbricus rubellus, Hoffm.

Synonymie. — Enterion ferum. Sav.

Corps cylindrique, atténué en avant et légèrement aplati en arrière. Ceinture s'étendant du 24, 25 et 26me jusqu'au 29, 30 et 31me anneau. Deux paires de ventouses visibles à la face inférieure de la ceinture; lobule céphalique aussi long que le premier anneau, à sillon longitudinal placé à sa face inférieure. Pas de sillon transversal. Nombre des anneaux s'élevant à 140. Vulve au 15me anneau.

Cette espèce se distingue principalement des *Lumbricus agricola* par l'absence du sillon transversal sur le lobe céphalique. Il existe deux variétés dans cette espèce, l'une mesure jusqu'à 8 pouces et possède de 140 à 150 anneaux, tandis que l'autre n'atteint pas la taille de 4 pouces et ne compte que 120 anneaux. Très-souvent la vulve manque.

La couleur de cette espèce est rouge bleuâtre, également répandue sur tout le corps. La partie antérieure du corps est plus colorée devant, parfois violette.

4. Lumbricus riparius, Hoffm.

Synonymie. — Enterion octoedum. Sav.
— chloroticum.
— virescens.

Corps anguleux, atténué en avant. — Ceinture solide très-proéminente commençant au 28me anneau et comprenant 8 ou 9 jusqu'à 10 anneaux.

Trois paires de ventouses à la face inférieure de la ceinture. — Vulve au 15me anneau. Ligne transversale n'existant pas sur les anneaux. Lobule céphalique court et étroit s'avançant jusqu'aux deux tiers sur le 1er anneau; un sillon sur la face inférieure. Couleur du corps brune-jaunâtre, souvent cependant, surtout au printemps, la couleur du corps est verdâtre à cause d'une secrétion interne abondante. Ceinture rougeâtre orangée.

Ce ver possède la propriété caractéristique de rapprocher la tête de la queue quand on le touche, et il fait des sauts très-violents.

Hoffmeister indique que ce ver habite l'argile; je l'ai presque toujours trouvé dans des terrains meubles très-chargés de matières végétales; dans le tan des serres, ainsi que dans les terres de bruyère servant à la culture.

5. Lumbricus olidus.

Synonymie. — Enterion fetidum, Sav.
— tubidum, Sav.

Corps cylindrique, un peu aplati en avant, atténué en arrière. Ceinture molle grosse 24.25-30.31. Compte six anneaux. Pas de ventouses apparentes. Vulve au 15e anneau, lèvre courte, transparente, à moitié aussi longue que le premier anneau. Pas de sillon longitudinal inférieur. Prolongement étroit, s'avançant jusqu'au milieu du premier anneau. — Nombre des anneaux : 90 à 100.

Comme l'indique très-bien Hoffmeister, cette espèce est extrêmement reconnaissable à la couleur qui est vraiment caractéristique : sur chaque anneau on trouve une tache de pigment brun rougeâtre. Les intervalles des taches, c'est-à-dire la séparation des anneaux, sont incolores, mais paraissent jaunes par la transparence des parois.

La ceinture est pâle brun rougeâtre ou orangée.

Vulve sur une auréole très-large, pâle.

Pendant l'accouplement, la ceinture de l'un couvre presque entièrement le corps de l'autre.

Cette espèce se fait remarquer par une grande quantité de sécrétion brunâtre, qui se trouve dans la cavité périgastrique.

Elle est très-commune en Belgique; on l'y rencontre presque partout aux environs de Bruxelles; elle diffère beaucoup de taille suivant les terrains où on la trouve.

6. Lumbricus stagnalis, Hoffm.

Synonymie. — Lumbricus complanatus.

Corps anguleux, atténué en avant. Ceinture épaisse, unie, proéminente du 26, 27 ou 29^{e} au 34, 35 et 38^{e} anneau, comprenant de 7 à 10 anneaux. Deux rangées de ventouses peu apparentes; vulve au 15^{e} anneau. Lobule céphalique court, épais, prolongé en arrière en un appendice court quadrilatère, qui s'avance jusqu'au milieu du premier anneau. Nombre des anneaux de 115 à 130.

L'extrémité postérieure du corps, qui est fortement quadrilatère, fait reconnaître facilement cette espèce. Sa longueur atteint quatre à sept pouces.

Les faisceaux de soies sont très-fortement séparés, de même que les soies elles-mêmes dans chaque faisceau.

La couleur de ce lombric est rougeâtre, le dos gris de fer brillant, surtout au-devant de la ceinture; chez les jeunes individus la couleur est noir de fer.

La ceinture est rouge clair avec un reflet bleuâtre.

Lobule céphalique, large en avant, arrondi en arrière, il divise le premier anneau jusqu'au tiers ou jusqu'à la moitié.

Je n'ai pas encore rencontré cette espèce en Belgique; la description en est entièrement empruntée à M. Hoffmeister, et je la donne avec confiance, car j'ai pu constater la grande exactitude de ses descriptions.

7. Lumbricus pieter, Hoffm.

Corps cylindrique, en avant et en arrière un peu atténué. — Ceinture unie proéminente, s'étendant du 25^{me} au 31^{me} anneau, rarement du 26^{me} au 30^{me}, présentant à sa face inférieure des renflements longitudinaux dans lesquels une paire de ventouses est visible. Vulve peu apparente entre le 15^{me} et

le 16^{me} anneau. Lobule céphalique transparent, obtus en avant avec un large prolongement en arrière, qui coupe les trois quarts de l'anneau. Un sillon longitudinal occupe sa face inférieure. — Le nombre des anneaux s'élève jusqu'à 86 et 96.

Cette espèce est remarquable par sa petite taille. Chaque anneau porte à sa surface une marque de pigment brun rouge, la face ventrale est incolore; la ceinture, blanche-grise ou grise-rouge, contraste fortement sur le dos par sa couleur. La vulve est blanchâtre.

Cette espèce se trouve communément en Belgique; je l'ai rencontrée en assez grande quantité dans les serres du jardin botanique, dans le tan; mais ces individus sont loin d'être aussi beaux que ceux que l'on trouve dans les bois.

8. Lumbricus agilis, Hoffm.

Synonymie. — Enterium tehoedrum. Sav.
Lumbricus amphisboena. Dugès.

Corps anguleux, atténué en avant, mais plus fortement encore en arrière. Ceinture peu proéminente du 21^{me} au 22^{me} anneau et du 25^{me} au 27^{me}, comprenant six anneaux et limitée de chaque côté par un sillon longitudinal. Vulve au 13^{me} anneau. Lobule céphalique transparent, plus court que le premier anneau. Prolongement postérieur court et étroit. Pas de sillon inférieur. — Nombre des anneaux : 60 à 80.

Ce ver n'atteint qu'une petite taille : de 2 à 3 pouces. Il se distingue surtout par la facilité à se mouvoir et par la forme quadrangulaire de son corps.

La couleur générale du corps est brune-rougeâtre-jaunâtre, également répandue sur tout le corps. La ceinture est rouge-jaune, rouge-brune ou orange. La face ventrale est jaune-rouge clair. La couleur chez cette espèce est très-constante.

Cette espèce, d'après Hoffmeister, préfère le voisinage des rivières. Je ne l'ai pas rencontrée en Belgique.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE I.

Fig. 1. *Lumbricus agricola*, de grande taille.
» 2. *Lumbricus agricola*, ouvert dans toute sa longueur, pour montrer la disposition du tube digestif, en avant. On voit le pharynx avec les muscles, l'œsophage, la dilatation de l'œsophage, la glande œsophagienne, l'estomac musculaire et l'intestin.
» 3. Tube digestif ouvert dans toute sa longueur. On voit les mêmes organes que dans la figure précédente, et l'organe hépatique.
» 4. Structure de la peau, épiderme, couche musculaire avec pigment et couche musculaire.
» 5. Morceau d'épiderme.
» 6. Glandes salivaires.
» 7. Glande œsophagienne, ouverte pour montrer la structure.
» 8. Glande œsophagienne vue de profil.
» 9. Cellules qui se trouvent dans les glandes œsophagiennes.
» 10. Coupe de l'intestin, vaisseau dorsal, vaisseau ventral et organe hépatique.
» 11. Glandes dites hépatiques fortement grandies.
» 12. Coupe des parois de l'œsophage.
» 13. Estomac vu de profil, pour montrer la direction et la disposition des vaisseaux.
» 14. Coupe des parois de l'estomac.
» 15. Fibres musculaires de l'intestin.
» 16. Cellules épithéliales de l'intestin.

PLANCHE II.

Fig. 1. Représente le système circulatoire, dans son ensemble, du *Lombricus agricola*. On voit le vaisseau dorsal, le vaisseau ventral supérieur et les cœurs, ainsi que les vaisseaux latéraux tégumentaires, avec les vaisseaux latéraux viscéraux.
» 2. Organes génitaux femelles : en avant les ovaires, les entonnoirs vibratiles des oviductes, les oviductes, l'élargissement de l'oviducte glandulaire.

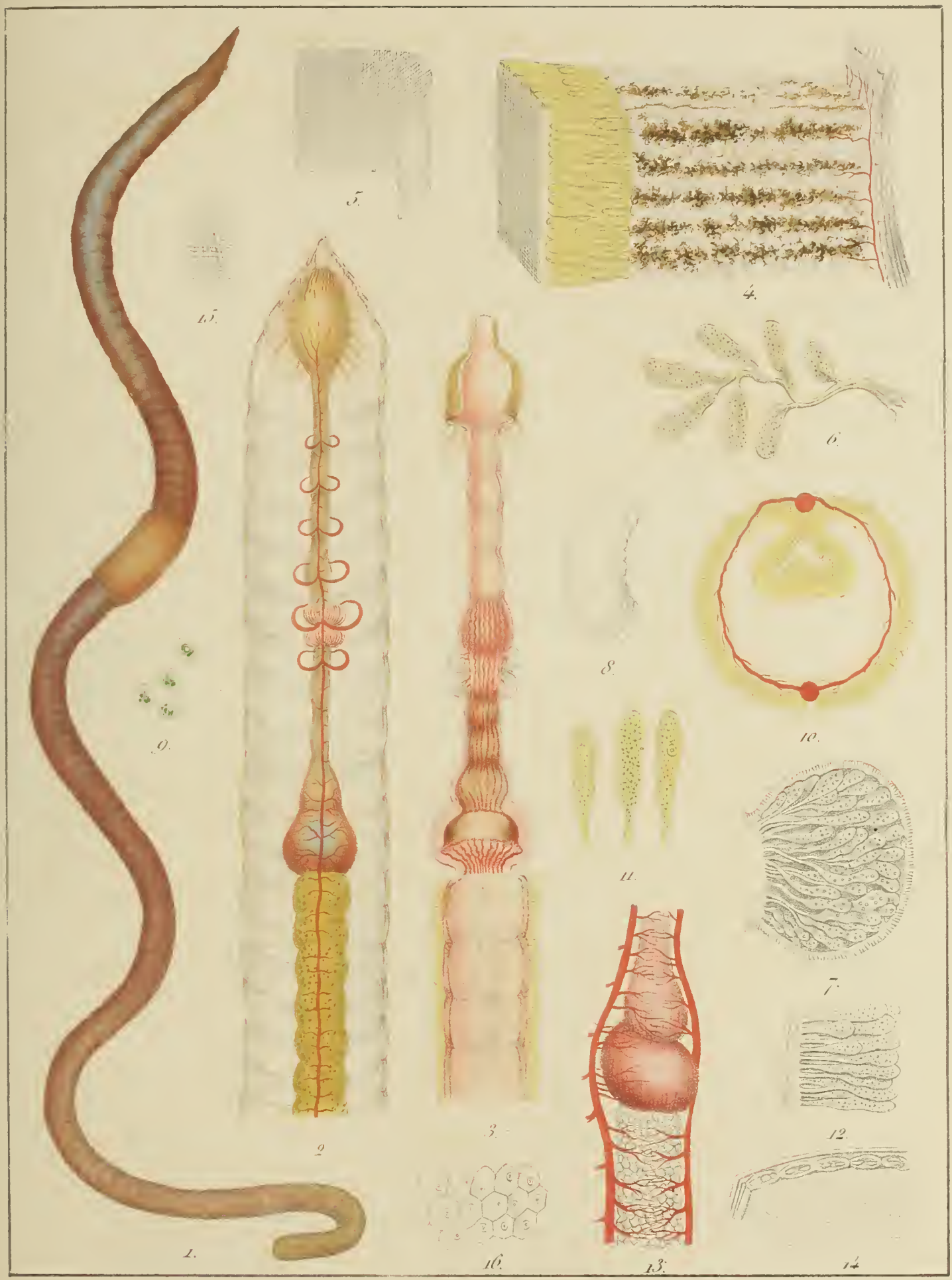
Fig. 3. Appareil génital, vu dans son ensemble, les testicules, les entonnoirs vibratiles, les canaux déférents, les vésicules séminales, les ovaires, les oviductes, le système nerveux.
» 4. Fragment de l'oviducte.
» 5. Fragment de la membrane ovarique.

PLANCHE III.

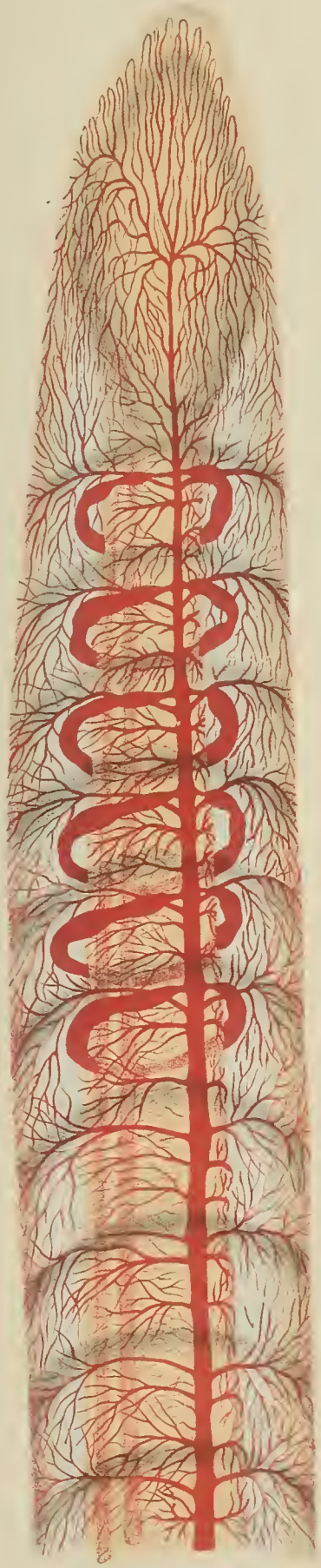
Fig. 1. Système nerveux, vu dans son ensemble, du *Lumbricus agricola.*
» 2. Portion de la chaîne ganglionnaire abdominale.
» 3. Globules des ganglions.
» 4. Distribution du nerf grand sympathique sur le pharynx.
» 5. Deux anneaux ouverts, pour montrer la disposition des organes urinaires dans l'intérieur du corps.
» 6. Organes urinaires, vessie, ouverture externe et ouverture interne.
» 7. Un fragment de l'organe urinaire.

PLANCHE IV.

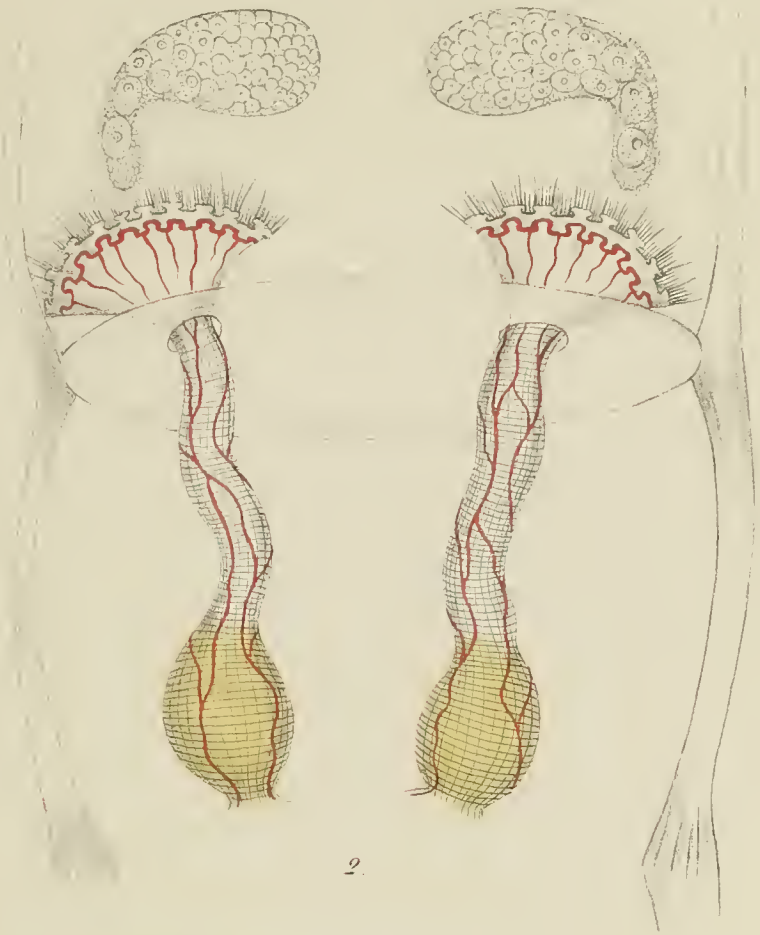
Fig. 1. *Lumbricus olidus*, Hoffm.
» 2. Tête du *L. olidus* agrandie, pour montrer le segment céphalique.
» 3. Soie du *L. olidus.*
» 4. *Lumbricus riparius*, Hoffm.
» 5. Lobule céphalique du *Lumbricus riparius.*
» 6. Soies du *Lumbricus communis*, Hoffm.
» 7. Soies du *Lumbricus agricola.*
» 8. Coupe du corps, pour montrer la disposition de tous les organes internes, c'est-à-dire : les téguments internes, le système nerveux, le vaisseau dorsal, le vaisseau ventral supérieur, l'autre vaisseau ventral inférieur, l'intestin, les organes urinaires, et les soies.
» 9. Entonnoir vibratile formant l'ouverture interne des organes urinaires.
» 10. Fragment d'un cœur, montrant sa membrane interne, sa membrane musculaire et son épithélium.
» 11. Épithélium des vaisseaux sanguins.
» 12. Faisceaux de soies renfermés dans le sac générateur, avec les muscles, l'appareil glandulaire et les soies.
» 13. Une grande cellule productrice des soies.


1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
14.
15.
16.

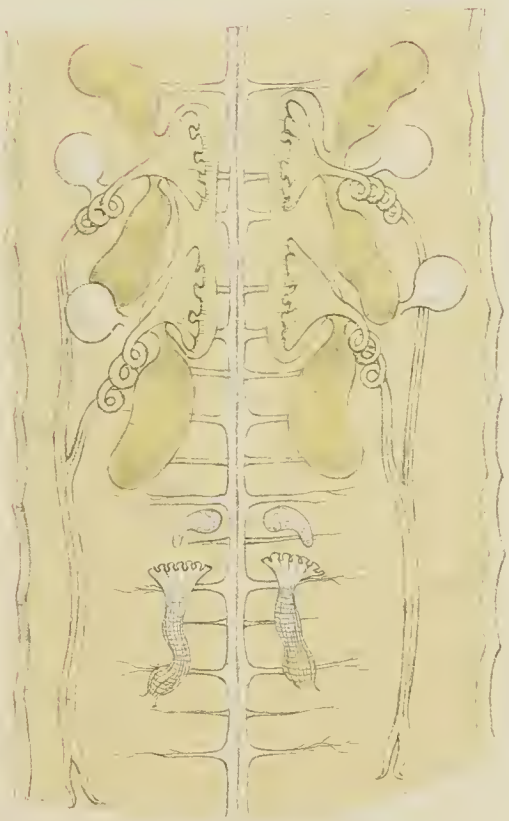
BRITISH
NATIONAL HISTORY



1.

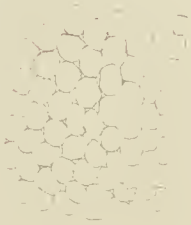


2.



3.

4.

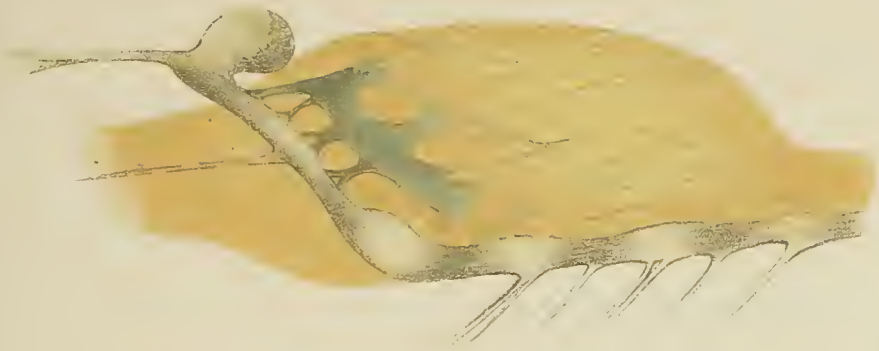


5.

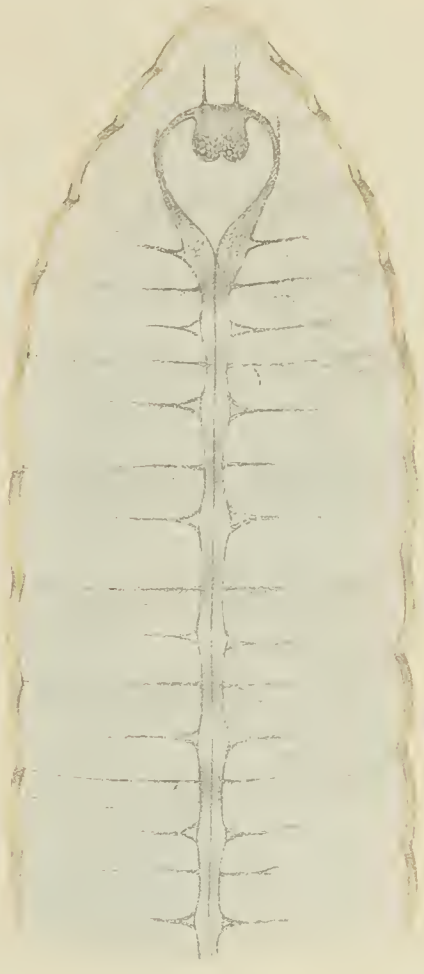
J. D'Udekem del. et lith.

Lith. par P. Severeyns lith. de l'Acad. Roy.

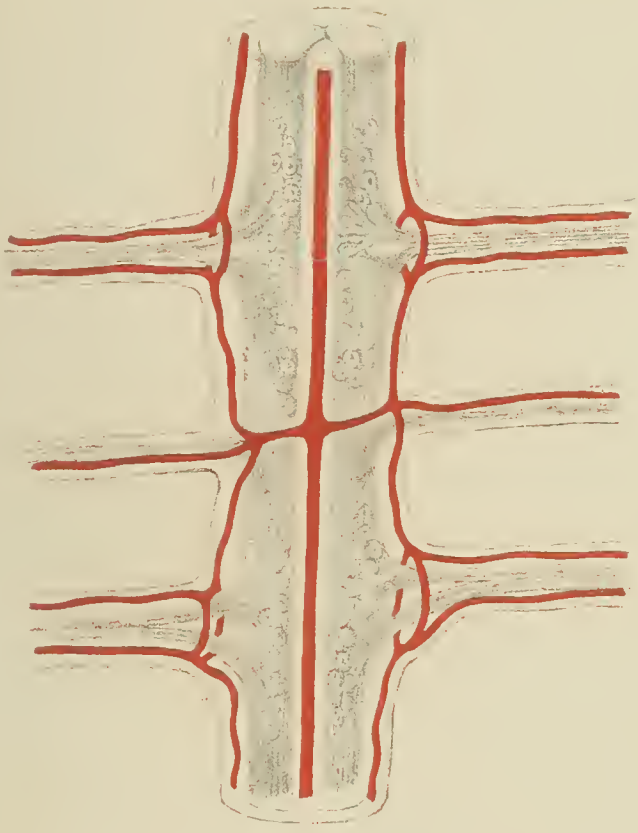
BRITISH MUSEUM
NATURAL HISTORY



4.



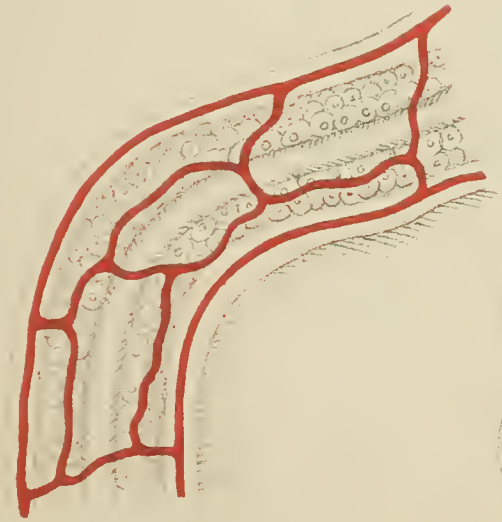
1.



2.

3.

5.



7.

6.

BRITISH
NATURAL HISTORY

1.

2.

3.

8

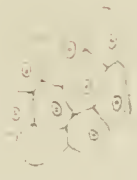
6.

5

7

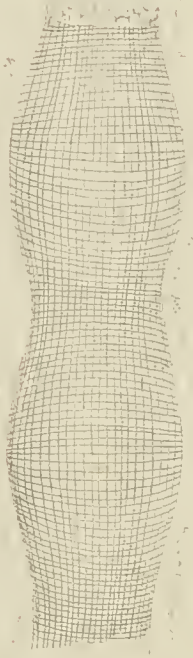
4.

13.


11.

9.

12.


10.

BRITISH MUSEUM
NATURAL HISTORY

OBSERVATIONS

DES

PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES

DES

PLANTES ET DES ANIMAUX

PENDANT LES ANNÉES 1861 ET 1862.

OBSERVATIONS

DES

PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES.

Le tome XXXIV des *Mémoires de l'Académie* contient les tableaux des observations météorologiques, faites en Belgique, pendant les années 1861 et 1862: différentes raisons n'ont pas permis d'y joindre alors les résultats obtenus pour les phénomènes périodiques des plantes et des animaux. Une nouvelle cloture faite, en 1862, autour du jardin de l'Observatoire royal et qui en a modifié les dimensions, a forcé de déraciner la plupart des plantes qui servaient aux observations. Depuis, mon collègue M. Dewalque a bien voulu obligeamment se charger de mettre en ordre les observations de 1861, et je dois regretter que sa complaisance ne lui ait pas permis d'en faire autant pour 1862.

Cependant, les observations botaniques et zoologiques, commencées en Belgique pendant l'année 1839, étaient continuées avec régularité dans le reste du pays, ainsi que dans presque toute la partie orientale de l'Europe, en Autriche, en Russie, en Prusse, où deux observateurs de mérite ont bien voulu, depuis, me transmettre les résultats de leurs calculs: M. Ch. Fritsch, vice directeur des observations météorologiques pour l'Autriche, et M. Charles Linsser, attaché à l'Observatoire impérial de Pulkowa, près de St-Pétersbourg. J'ai présenté à l'Académie (1) les communications intéressantes de ces deux savants sur la comparaison de l'époque moyenne de la feuillaison et de la floraison. On pourra les joindre à celles que j'ai données dans l'ouvrage *Sur la physique du globe*, 1 vol. in-4°, que j'ai publié en 1861. D'après les lettres de ces deux savants, leurs travaux seront complétés dans deux ouvrages étendus, et l'on peut espérer que la science alors possédera des données plus positives sur un des phénomènes les plus intéressants pour les

(1) Voyez la séance de mai 1865, tome XIX de la 2e série des *Bulletins de l'Académie royale de Belgique.*

seiences naturelles : *l'influence des jours et des saisons de l'année sur les phénomènes périodiques de la botanique et de la zoologie.*

Nous eroyons devoir ajouter aux observations de la Russie quelques résultats des caleuls qui ont servi à déterminer l'époque moyenne de la feuillaison et de la floraison à Bruxelles. M. Ch. Linsser a bien voulu nous les eommuniquer eomme un exemple de la marehe qu'il suit dans ses tableaux pour déterminer les époques moyennes des plantes à Bruxelles. Ces résultats, quand ils seront terminés, donneront avee eeux de M. Fritsch et eeux que nous avons obtenus nous mêmes, les moyens d'appréeier plus eonvenablement un problème, qui, on peut le dire d'après ees trois épreuves, n'admet pas de solution *a priori*, mais on pourra en approeher d'une manière très-satisfaisante. Voiei les résultats que présente M. Ch. Linsser : à côté de la plante est indiqué le jour de la feuillaison ou de la floraison, à partir du premier jour de l'an.

Distribution, par groupes, des plantes dont la floraison et la feuillaison ont été observées, à Bruxelles, pendant une période de vingt ans (1841-1860).

FLORAISON.

	Jour.		Jour.		Jour.
Helleborus niger.	21.9	Cornus mascula	67.4	Anemone hepatica	76.8
Corylus avellana	35.3	Arabis caucasica	68.2	Cynoglossum omphalodes . . .	76.9
Crocus vernus.	56.0	Daphne mezereum	70.8	Ulmus campestris.	82.0
Galanthus nivalis	57.0	Vinca minor	76.4	Amygdalus persica	82.1
Bellis perennis	62.3	Viola odorata	76.5	Hyacinthus orientalis	82.8
	A. 46.3		*B.* 71.9		*C.* 80.1
Narcissus pseudo-narcissus . .	85.4	Cheiranthus cheiri	91.2	Leontodon taraxacum	98.9
Pyrus japonica.	87.5	Waldsteinia geoïdes.	93.9	Saxifraga crassifolia.	101.0
Populus balsamifera.	89.2	Ribes grossularia.	93.8	Prunus spinosa	101.8
— fastigiata	89.7	— rubrum.	93.8	Equisetum arvense	103.0
Buxus sempervirens.	90.6	Betula alba	93.8	Sanguinaria canadensis . . .	104.9
	D. 88.1		*E.* 94,5		*F.* 101.9
Pyrus communis.	105.2	Prunus cerasus	107.7	Sambucus racemosa.	111.1
Iris pumila	105.6	Ribes nigrum.	108.4	Tulipa gesneriana	115.5
Corchorus japonica	106.3	Anchusa sempervirens	108.6	Pulmonaria virginica	115.9
Iberis sempervirens.	107.1	Narcissus jonquilla	109.3	Mitella grandiflora	116.9
Prunus domestica	107.1	Magnolia yulan	110.4	Pyrus malus	117.7
	G. 106.3		*H.* 108.8		*I.* 115.1

Pyrus spectabilis. 119.0	Tiarella cordifolia. 121.7	Syringa persica 124.4
Spiræa lævigata 120.2	Fragaria vesca 121.7	Evonymus latifolius. 124.8
Convallaria maialis 120.4	Staphylea pinnata 122.8	Ranunculus acris 125 1
Narcissus poëticus 121.2	Acer pseudo-platanus 125.0	Rheum undulatum 125.4
Syringa vulgaris. 121.4	Glycine sinensis 124.1	Æsculus hippocastanum . . . 125 4
K. 120.4	*L.* 122.7	*M.* 125 0

Spiræa hippocastanum. . . . 127.1	Berberis vulgaris. 128.0	Lonicera tatarica. 129.8
Sorbus aucuparia 127.2	Dodecatheon meadia 128.0	Symphitum officinale 130.5
Cratægus oxyacantha 127.4	Cytisus laburnum 128.1	Prunus padus. 131.1
Acer campestre 127.5	Lonicera xylosteum. 127.2	Staphylea trifolia 131.1
Trollius europæus 127.8	Coronilla hemerus 129.5	Rhododendron ponticum . . . 134.4
N. 127.4	*O.* 128.6	*P.* 131.4

Tilia platyphylla 135.3	Iris germanica. 136.0	Rhamnus frangula 140.9
Viburnum opulus (*fl. pl.*). . . 135.4	Evonymus europæus 136.6	Colutea arborescens. 145.1
Spiræa bella 135.4	Cratægus coccinea 137.0	Philadelphus coronarius . . . 145 9
Ilex aquifolium 135.6	Trifolium pratense 139.3	Geranium pratense 146.2
Magnolia tripetala 135.6	Rubus idæus 140.9	Valeriana ruhra 146.4
Q. 135.5	*R.* 138.0	*S.* 144.9

Astrantia major 146.9	Robinia pseudo-acacia 151.5	Aconitum napellus 154.0
Lonicera symphoricarpos . . . 147.0	Lonicera periclymenum . . . 151.8	Antirrhinum majus 154 4
Papaver bracteatum. 147.2	Dictamnus albus (*fl. purp.*) . . 151.9	Rosa gallica 154.7
Sambucus nigra 151.0	Tradescantia virginica 152.7	Hemerocallis flava 155.4
Rosa centifolia 151.1	Dictamnus albus. 153.3	Digitalis purpurea 158.1
T. 148.6	*U.* 152.2	*V.* 155.3

Robinia viscosa 159.5	Papaver rhœas. 164.5	Dianthus caryophyllus. . . . 167.4
Papaver orientale 159.6	Campanula persicifolia. . . . 165.9	Sedum acre 167.8
Hieracium aurantiacum . . . 160.6	Malva sylvestris 166.5	Philadelphus latifolius 168.4
Spiræa filipendula 160.7	Eschcholtzia californica . . . 167.3	Physalis alkekengi 169.1
Rubus odorata 162.1	Lilium flavum. 167.4	Gladiolus communis 169.3
W. 160.5	*X.* 166.3	*Y.* 168.4

Sedum album. 176.9	Convelvulus arvensis 178.8	Hemerocallis cœrulea. 188.0
Lychnis chalcedonica 177.5	Tilia minor 179.9	Alcea rosea. 189.3
Vitis vinifera 177.6	Hypericum perforatum. . . . 181.2	Bignonia latifolia. 191.3
Hydrangea hortensis 178 4	Coreopsis tripteris 184.2	Rhus typhina. 195.2
Hemerocallis fulva 178.5	Lilium candidum. 184.9	Æsculus macrostachys. . . . 195 5
Z. 177.8	*ZZ.* 181.8	Asclepias vincetoxicum. . . . 196.0
		Clethra alnifolia 208.8
		ZZZ. 194.0

Déviation moyenne des groupes de plantes observées, à Bruxelles, pendant les années 1841-1860.

FLORAISON.

GROUPES.	JOUR moyen.	1841	1842.	1843.	1844.	1845.	1846.	1847.	1848.	1849.	1850.	1851.	1852.	1853.	1854.	1855.	1856.	1857.	1858.	1859.	1860.
A.	46.5	+21	− 8	+ 1	+ 6	+37	− 29	+15	+ 1	−17	− 5	−19	−20	− 6	+ 2	+16	− 4	− 1	+ 5	− 8	+ 8
B.	71.9	+ 5	− 9	− 1	+15	+25	−29	+15	+ 1	−17	− 7	− 5	−16	+11	− 2	+25	0	0	+17	−15	+16
C.	80.1	0	− 8	− 2	+11	+18	−35	+ 9	0	−14	− 2	− 7	− 7	+15	− 7	+17	+ 9	− 5	+11	−18	+18
D.	88.1	− 5	− 9	− 7	+ 6	+25	−36	+ 7	− 2	−24	+ 2	− 6	0	+16	+ 1	+18	+ 9	0	+12	−12	+20
E.	94.5	− 3	−11	− 9	+ 3	+19	−35	+ 8	− 1	−24	+ 1	− 4	+ 5	+21	− 7	+16	+ 1	− 1	+14	−11	+20
F.	101.9	−14	− 8	− 5	+ 1	+11	−25	+14	− 7	− 4	+ 1	+ 3	+ 6	+19	− 5	− 1	+ 8	0	+16*	−16*	−18*
G.	106.5	−12	+ 1	−15	− 4	+12	−26	+15	−11	− 4	0	− 2	+ 7	+18	− 6	+19	+ 2	− 1	+ 4	−10	+21
H.	108.8	−11*	+ 3*	−17	− 3	+14	−29	+12	− 7	− 3	− 4	+ 3	0	+17	− 8	+17	+ 6	− 1	+ 6	−19	+17
I	115.4	− 1	− 1	− 8	− 3	+ 7	−22	+11	−10	+ 3	− 1	− 3	+ 3	+13	− 9	+17	+ 1	− 3	+ 2	−14	+17
K.	120.4	− 3	− 3	−10	− 6	+14	−19	+11	− 3	− 3	− 3	+ 1	+ 8	+13	−13	+17	+ 1*	+ 3	+ 4	−10	+12
L.	122.7	− 7	− 3	−11	− 7	+ 3	−18	+ 8	−10	+ 1	− 3	+ 4	+ 7	+11	−10	+19	+ 3	+ 4	+ 1	− 2	+11
M.	125.0	− 7	− 3	−12	− 3	+ 6	−14	+10	− 7	+ 1	− 1	+ 3	+ 7	+10	−14	+17	+ 8	+ 2	+ 8	−13	+10
N.	127.4	− 8	− 3	−10	− 6	+ 4	−19	+ 6	−11	+ 3	+ 7	+ 3*	+ 9	+13	− 3	+17	+ 4	+ 1	+ 4	− 9	+ 3
O.	128.6	− 8	− 3	−10	− 4	+ 8	−19	+ 9	−10	− 1	0	+ 7	+ 7	+13	−13	+16	+ 3	+ 4	+ 8	− 6	+ 7
P.	131.4	− 8*	− 8*	−11	− 9	+ 8	− 9	+ 9	− 6	+ 2	− 1	+ 9	+ 3	+12	−12	+13	− 4	+ 3	+ 3	−13	+ 7
Q.	135.3	−10*	− 3*	− 8*	− 6	+11	−18*	+ 3	− 7	+ 2	+ 6	+ 8	+ 6	+11	− 4	+14	+15*	− 3*	+ 6*	− 3	+ 6*
R.	138.0	−13	− 4	− 9	−10	+18	−11	+ 4	− 7	− 2	+ 3	+ 3	+ 6	+12	− 1	+13	+ 6	− 3	+ 6	−16	+ 3*
S.	144.9	− 9	−10	−14	− 7	+11	−10	+ 3	−10	0	+ 2	+ 7	+ 3	+10	− 6	+16	+12	− 2	+ 3	− 2	+ 7*
T.	148.6	−13	− 7	− 6	− 3	+10	−10	+ 8	−10	− 3	+ 6	+ 1	+ 3	+10	− 6	+13	+ 6	− 3	+ 4	− 3	+12*
U.	152.2	−12	− 9	− 2	− 9	+11	− 8	+ 1	−10	+ 1	− 2	+ 8	+ 8	+11	»	+16	+ 4	− 6	+ 3	− 3	+ 4
V.	155.3	−10	−10	− 3	− 4	+ 8	−14	+ 7	− 8	− 3	+ 2	+ 4	+ 6	+10	−13*	+19	+ 6	0	+ 3	− 7	+ 3
W.	160.3	− 14	− 9	− 3	− 4	+ 6	− 4	+ 2	− 7	+ 1	+ 3	+ 9	+ 7	+10	−23*	+11	»	− 3	+ 9	− 4	+ 4*
X.	166.3	−18	−13	− 8	− 1	+ 9	−10	+ 3	− 4	− 3	− 1	+ 3	+ 9	+11	−32*	+17	+ 4	− 3	+ 1	−12	+11
Y.	168.4	−17	−11	− 1	− 2	+ 3	− 7	+ 3	−10	0	+ 2	+16*	+ 6	+11	»	+11	+ 8	+ 8	− 7	− 4	+11*
Z.	177.8	+ 4*	−10*	+ 3	− 1	+ 3	−10	0	− 7	− 3	− 1	+ 2	+ 4	+ 7	»	+11	+ 2	− 4	− 7	− 2	+ 2*
ZZ.	181.8	−13*	− 9*	+ 3	0	+ 7	0*	+ 7	− 4	+ 3	− 2	+ 1	+ 2	+ 2	»	+ 3*	− 3*	−13*	− 9	− 3*	+11*
ZZZ.	194.9	− 2	− 4	+ 7	+ 8	+ 7	− 8	+ 3	− 1	+ 3	+ 4	+ 9	+ 3	+ 1	»	+ 4*	−13*	*−13*	−11*	−19*	− 8*

* *NB.* On n'a compris qu'une ou deux observations.

FEUILLAISON.

Lonicera periclymenum.	64.8	Daphne mezereum	73.3	Ribes rubrum	79.8
— tatarica	65.2	Spiræa bella.	73.5	Philadelphus coronarius.	79.9
Ribes grossularia	68.6	Corchorus japonicus	75.6	Syringa vulgaris	81.5
Spiræa lævigata	70.5	Sambucus racemosa	78.9	Lonicera symphoricarpos	85.7
Pyrus japonica.	71.6	Ribes nigra	79.1	Sambucus nigra	85.8
	A. 68.1		*B.* 75.7		*C.* 82.5

Rubus idæus.	85.9	Syringa rothomagensis	88.5	Amygdalus persica	93.7
Cratægus oxyacantha	85.9	Viburnum opulus	89.2	Rubus odorata	94.1
Syringa persica.	87.0	Salix babylonica	89.5	Evonymus europæus	96.4
Berberis vulgaris	87.4	Pyrus spectabilis	89.3	Philadelphus latifolius	97.2
Corylus avellana	88.2	Lonicera xylosteum	91.4	Staphylea pinnata.	97.2
	D. 86.9		*E.* 89.5		*F.* 95.7

Spiræa hypericifolia	97.4	Evonymus latifolius	99.4	Rosa centifolia	102.5
Pyrus communis	97.5	Pyrus malus.	99.7	Prunus cerasus.	102.6
Prunus domestica.	98.7	Cytisus laburnum.	99.9	Carpinus betulus	102.7
Sorbus aucuparia	98.8	Cratægus coccinea.	101.1	Staphylæa trifolia.	103.7
Æsculus hippocastanum.	99.2	Populus balsamifera	100.4	Betula alba	104.1
	G. 98.3		*H.* 99.9		*I.* 103.1

Cornus mascula	104.1	Populus fastigiata.	107.8	Acer campestre.	113.6
Tilia platyphylla	104.6	— alba.	109.8	Cercis siliquastrum	114.5
Rosa gallica.	105.1	Rhamnus frangula.	111.7	Rhus typhina	115.6
Prunus padus	106.1	Acer pseudo-platanus.	111.8	Tilia parvifolia.	116.8
Ulmus campestris.	106.5	Glycine sinensis	113.3	Robinia pseudo-acacia	116.8
	K. 105.5		*L.* 110.9		*M.* 115.5

Robinia viscosa	118.3
Quercus pedunculata.	118.8
Vitis vinifera	118.9
Juglans regia	120.0
Bignonia catalpa	126.1
Morus alba	126.9
	N. 121.5

Déviation moyenne des groupes de plantes observées, à Bruxelles, pendant les années 1841-1860.

FEUILLAISON.

GROUPES.	JOUR MOYEN.	1841.	1842.	1843.	1844.	1845.	1846.	1847.	1848.	1849.	1850.	1851.	1852.	1853.	1854.	1855.	1856.	1857.	1858.	1859.	1860.
A.	68.1	+ 3	— 9	0	+12	+26	—30	+12	0	—23	—11	0	—26	+15	— 1	+27	+ 5*	+ 3	+21	—19	+22
B.	75.7	— 2*	— 6	0	+14	+22	—33	+ 7	—11	—20	—12	+ 3	— 9	+22	— 5	+25	»	— 4	+15	—21	+ 8
C.	82.5	— 8	—12	— 6	+ 9	+18	—26	+ 4	— 5	—16	+ 4	— 1	— 1	+21	— 2	+21	—11	— 7	+ 9	—10	+11
D.	86.9	— 6	—13	— 7	+ 5	+19	—29	0	— 6	—22	+ 5	— 2	— 1	+18	— 9	+19	+ 5	— 2	+14	— 6	+17
E.	89.5	—10	—15	—10	+ 5	+19	—31	+ 4	— 4	—19	+ 4	— 3	+ 3	+20	— 3	+22	+ 9*	— 2	+15	—23*	+13
F.	95.7	—14*	—13	—10	+ 1	+15	—26	+15	— 5	— 3	+ 5	0	+ 2	+14	— 7	+15	0	— 1	+ 6	— 5	+17
G.	98.3	—15	— 6	—13	— 1	+14	—25	+11	— 7	— 4	+ 1	— 1	+ 7	+16	— 6	+15	+ 2	— 2	+ 9	—12	+ 8
H.	99.9	—15	— 7	—14	— 3	+11	—25	+11	— 7	— 3	+ 3	+ 2	+ 6	+20	— 4	+17	+ 3	— 4	+ 6	—15	+10*
I.	103.1	—18*	— 5	—11	— 3	+ 8	—24	+ 9	—10	+ 1	+ 4	+ 1	+ 7	+17	— 3	+12	0	— 7	0	—12*	+11
K.	105.1	—19*	—10	— 6	— 4	+ 7	—16	+10	—12	— 4	— 3	+ 1	+ 3	+15	— 3	+15	— 1*	— 9	0	—10	+14
L.	110.9	—17	— 2	—15	—11	+ 3	—14	+ 9	—14	+ 6	— 1	+ 1	+14	+17	— 8	+15	+10	+ 3	0	— 9	+15
M.	115.5	—15*	— 2*	—17	— 7	+ 2	—11	+ 8	—18	+ 7	— 7	+ 1	+12	+18	—13	+14	+ 7	— 3*	+ 2	— 9	+15
N.	121.5	— 4	— 2	—10	—11	+ 2	— 8	+11	— 9	+ 3	— 3	+ 2	+ 3	+15	—11	+17	+14	+ 3	+ 2	— 4	+ 8

* *NB.* On n'a compris qu'une ou deux observations.

Nous ajouterons ici quelques mots tirés de nos *instructions pour l'observation des phénomènes périodiques* : Nous croyons devoir les recommander instamment aux personnes qui veulent bien prendre part à nos travaux faits en Belgique. Sans cette identité d'observation, il devient en effet impossible d'avoir des résultats valables pour l'objet que nous nous proposons.

« Dans l'ordre des observations, deux modes peuvent être employés, en notant les plantes d'après leur état sauvage ou bien d'après leur état cultivé. Nous pensons que le premier n'offre pas assez de ressources et qu'il est sujet à trop d'incertitude, en ce que l'observateur devrait être astreint à parcourir, chaque jour, des régions très-différentes, à de grandes distances, et qu'il ne serait jamais sûr de faire une seconde observation sur la plante qui a servi à ses premières annotations. Où citer en Europe deux localités où l'on rencontrerait les mêmes espèces de plantes vivaces sur un espace assez resserré pour y faire les notations quotidiennes? Il est impossible au naturaliste d'observer chaque jour les champs, les bois, les prairies de sa contrée; il devra donc s'en tenir à des approximations. Or, l'essentiel est que l'observation quotidienne des plantes, déterminées pour la comparaison, ait lieu dans une position équivalente. Par cette considération, nous estimons que ces observations doivent être faites sur des individus plantés dans un jardin bien aéré. Les plantes ne devront être ni abritées, ni exposées à la muraille du midi. Pour les arbres sylvestres, ils doivent être pris en plein champ, mais non dans les bois, qui offrent toujours des abris très-inégaux.

» Quant à l'indication des époques, elle doit se faire, pour la feuillaison, lorsque les premières feuilles sortent des bourgeons et deviennent visibles; la floraison commence au moment où l'anthère se montre; et il en sera de même pour les fleurs de la famille des composés. L'époque de la notation de la feuillaison peut offrir des difficultés en ce qu'elle présente diverses phases qui, au printemps surtout, peuvent amener des différences considérables. Il faut donc une époque convenue et appréciable pour tout le monde. Nous proposons de choisir le moment où, par le développement de la préfoliation, la face supérieure des premières feuilles est mise en contact avec l'atmosphère et commence ses fonctions vitales. La fructification doit se prendre lors de la déhiscence du péricarpe pour les fruits déhiscents, et c'est le plus grand nombre; les fruits indéhiscents seront notés lorsqu'ils seront manifestement parvenus à leur maturité. Enfin, la défeuillaison doit être inscrite lorsque la chute de la majeure partie des feuilles de l'année est opérée, bien entendu que ce qui concerne les feuilles ne peut s'appliquer qu'aux seuls végétaux ligneux, en excluant en outre les arbres toujours verts, dont la défeuillaison est successive. »

AD. QUETELET.

PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES NATURELS. — Règne végétal. — 1861.

NOMS DES PLANTES. (*Feuillaison*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.
Acanthus mollis. L.	—	—	—	—	—	—	28 févr.
Acer campestre. L.	15 avril.	30 avril.	15 mai.	—	—	10 avril.	
» pseudo-platanus. L.	15 »	—	6 »	—	20 avril.	6 »	
» saccharinum. L.	—	—	19 »				
Aesculus hippocastanum. L.	2 »	21 mars B.	6 »	26 avril.	24 mars.	4 avril.	
» lutea. Pers.	—	23 » B.	—	—	—	10 »	
» pavia. L.	12 »	23 » B.	—	—	—	4 »	
Alnus glutinosa. L.							
Amygdalus persica. L. (β *mad.*)	25 mars.	22 avril.	—	3 mai.	—	22 mars.	
Aristolochia sipho. L.	26 »	—	—	—	—	8 avril.	
Arum maculatum. L.	—	—	—	—	—	—	17 mars.
Betula alba. L.	3 avril.	11 mai.	18 avril.	20 avril.	11 avril.	4 avril.	
» alnus. L.	—	18 avril.	—	19 »	—	10 »	
Berberis vulgaris. L.	20 mars.	25 »	17 avril.	—	14 mars.	24 mars.	26 mars.
Bignonia catalpa. L.	17 avril.	9 mai.	—	20 avril.	7 juin.	—	15 avril.
» radicans. L.	—	—	—	—	—	2 mai.	
Buxus sempervirens. L.	—	—	12 mai.	—	—	1 avril.	17 mars.
Carpinus betulus. L.	16 avril.	3 mai.	—	—	17 avril.	6 »	
Cercis siliquastrum. L.	—	27 »	—	—	—	1 mai.	7 mars.
Colutea arborescens. L.	—	—	—	—	—	14 mars.	
Convolvulus sepium L.	—	—	—	—	—	—	9 avril.
Corchorus Japonica. L.	20 févr.	27 mars.	18 mai.	—	—	20 févr.	
Cornus mas. L.	—	3 mai.	24 »	—	—	30 mars.	17 avril.
» sanguinea. L.	—	9 »	—	—	—	30 »	12 mars.
Corylus avellana. L.	18 mars.	19 avril.	13 avril.	6 avril.	24 mars.	14 »	
Cratægus coccinea. L.	25 »	—	13 »				
» oxyacantha. L.	—	13 avril.	10 »	17 avril.	21 mars.	24 mars.	
Cytisus laburnum. L.	6 avril.	29 mars.	—	—	15 avril.	30 »	12 avril.
Daphne mezereum. L.	10 mars.	27 avril.	20 avril.	6 avril.	—	6 »	20 mars.
» laureola. L.	—	—	—	—	—	—	4 »
Dictamnus fraxinella. Lam.	—	—	—	—	—	—	20 avril.
Evonymus europæus. L.	25 mars.	15 avril.	30 avril.	—	—	25 mars.	
» latifolius. Mill.	28 »	—	—	—	—	8 avril.	
» verrucosus. L.	—	19 avril	3 mai.				

NOMS DES PLANTES. (*Feuillaison*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.
Fagus castanea. L.	—	7 mai.	17 mai.	—	25 mai.	1 mai.	
» sylvatica. L.	—	15 avril.	9 »	—	8 »	27 avril.	
Fraxinus excelsior. L.	26 avril.	—	18 »	—	25 »	5 mai.	
» ornus. L.	—	—	24 »				
Ginkgo biloba. L.	—	25 mai.	31 »	—	—	6 mai.	
Gleditschia horrida. Willd.	28 avril.						
Glycine sinensis. L.	5 mai.	27 mai.	25 mai.	—	4 juin.	27 avril.	
Gymnocladus canadensis. Lam.	—	—	18 juin.	—	—	16 mai.	
Hibiscus syriacus L.	—	—	—	—	—	—	14 avril.
Hippophaë rhamnoïdes L.	—	30 avril.	—	—	—	25 mars.	12 »
Hydrangea arborescens. L.	4 avril.	3 juin.	—	—	—	6 avril.	
Hypericum perforatum. L.	—	—	—	—	—	—	18
Ilex aquifolium. L.	—	—	—	—	—	—	5 mars.
Juglans regia. L.	3 mai.	11 mai.	—	15 mai.	29 mai.	25 avril	
» nigra. L.	3 »	—	28 mai.				
Ligustrum vulgare. L.	—	30 avril.	3 »	—	—	14 mars.	20 mars.
Liriodendron tulipifera. L.	—	20 »	—	—	—	5 avril.	
Lonicera periclymenum. L.	8 mars.	20 »	10 avril.	16 mai.	21 févr.	20 févr.	
» symphoricarpos. L.	12 »	—	30 »	—	10 mars.		
» tatarica. L.	2 »	7 avril.	26 »	—	18 févr.		
» xylosteum. L.	6 »	—	15 »	—	10 mars.		
Magnolia tripetala. L.	—	20 mai.					
» yulan. Desf.	—	21 »					
Malva sylvestris. L.	—	—	—	—	—	—	17 avril.
Mespilus germanica. L.	20 mars.	29 mai.	—	—	—	29 mars.	
Morus nigra. L.	28 avril.	—	—	—	30 mai.	19 mai.	16 avril.
Orobus vernus. L.	—	—	—	—	—	—	8 »
Philadelphus coronarius. L.	5 mars.	11 avril.	15 avril.	—	7 mars.	26 févr.	8 »
» latifolius. Schrad.	—	—	18 mai.				
Pinus larix. L.	—	—	—	—	28 mars.	26 mars.	
Plantago major. L.	—	—	—	—	—	—	19 avril.
Platanus occidentalis. L.	—	—	22 mai.	—	—	10 avril.	
» orientalis. L.	—	—	—	—	—	—	3 mai.
Populus alba. L.	5 avril.	3 mai.	25 mai.	—	—	2 mai.	
» balsamifera. L.	5 »						
» fastigiata. Poir.	—	8 mai.	10 mai.	—	11 avril.	4 avril	
» tremula. L.	5 avril.	—	—	—	—	4 mai.	
Prunus armeniaca. L. (β *abric.*)	29 mars.	19 avril.	—	20 avril.	27 mars.	26 mars.	
» cerasus. L. (β. *big. noir*)	26 »	14 »	8 avril.	—	—	2 avril.	
» domestica. L. (β. *gr. d. v.*)	25 »	27 »	—	—	—	26 mars.	
» padus. L.	26 »	19 »	20 avril.	—	—	24 »	
Ptelea trifoliata. L.	—	—	29 »	—	—	1 mai.	

NOMS DES PLANTES. (*Feuillaison*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.
Pyrus communis. L. (β. *Berg.*)	26 mars.	17 avril.	2 mai.	30 avril.	—	30 mars.	
» cydonia. L.	—	—	—	—	—	—	16 avril.
» japonica. L.	5 mars.	—	26 avril.	3 mars.	—	20 févr.	
» malus. L. (β *calv. d'été*)	28 »	27 avril.	—	—	—	6 avril.	
» spectabilis. Ait.	28 »	—	30 avril.				
» sylvestris. L.	—	—	—	—	—	—	30 mars.
Quercus pedunculata. Willd.	24 avril.	1 mai.	12 juin.	—	—	3 mai.	
» sessiliflora. Smith	—	—	29 mai.	—	—	3 »	
Rhamnus catharticus. L.	—	—	—	—	—	27 mars	
» frangula. L.	14 avril.	17 mai.	—	—	—	20 avril.	
Rhus cotinus. L.	—	3 »					
— typhina. L.	15 avril.						
Ribes alpinum. L.	8 mars.	15 avril.	—	—	1 mars.	20 févr.	
» grossularia. L.	26 févr.	17 mars.	10 avril.	—	24 févr.	6 mars.	
» nigrum. L.	22 »	—	16 »	—	10 mars.	12 »	
» rubrum. L.	22 »	30 mars.	16 »	—	—	15 »	7 avril.
» uva crispa. L.	—	—	25 »				
Robinia pseudo-acacia. L.	4 mai.	31 mars.	—	—	21 avril.	1 mai.	17 avril.
» viscosa. Vent.	4 »	—	—	—	25 »		
Rosa centifolia. L.	25 mars.	—	10 mai.	—	—	24 mars.	5 avril.
» gallica. L.	30 »	—	—	—	—	24 »	
Rubia tinctorum. L.	—	—	—	—	—	27 févr.	
Rubus idæus. L.	18 »	—	17 avril.	—	30 mars.	14 »	
» odoratus. L.	18 »						
Ruta graveolens. L.	—	—	—	—	—	—	20 avril.
Salix alba. L.	—	15 avril.	—	—	—	15 avril.	
» babylonica. L.	20 mars.	19 »	5 mai.	—	12 mars.		
Salvia officinalis. L.	—	—	—	—	—	—	12 avril.
Sambucus ebulus. L.	—	23 avril.	17 avril.				
» nigra. L.	26 mars.	20 »	15 »	27 avril.	24 févr.	15 févr.	9 mars.
» racemosa. L.	26 »	—	31 mars.	—	—	6 mars.	
Sorbus aucuparia L.	14 avril.	19 avril.	8 avril.	—	—	24 »	
Spiræa bella. Sims.	—	—	5 mai.				
» hypericifolia. L.	1 mars.	—	15 avril.				
Staphylea pinnata. L.	30 »	—	3 mai.	—	5 avril.	26 mars.	24 mars.
Syringa persica. L.	3 »	—	13 avril.	—	25 mars.	1 »	
» rothomagensis. Hort.	3 »	—	22 »	—	1 »		
» vulgaris. L. [1]	5 »	27 avril.	13 »	28 févr.	28 févr.	24 févr.	2 avril.
Taxus baccata. L.	—	—	18 mai.				12 »
Tilia americana. L.	1 avril.						
» europæa. L.	—	2 mai.					
» parvifolia. Hoffm.	18 avril.	—	20 avril.	—	7 avril.		

[1] En houtons, le 3 mars, à Vilvorde.

NOMS DES PLANTES. (*Feuillaison*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VIENNE.
Tilia platyphylla. Vent.	31 mars.	—	2 mai.	—	—	3 avril.	
Ulmus campestris. L.	6 avril.	3 mai.	2 »	—	—	8 »	
Vaccinium myrtillus. L.	—	—	—	—	—	2 »	
Viburnum lantana L.	30 mars.	1 mai.	28 avril.	—	26 mars.	4 mars	
» opulus. L. (*fl. simpl.*)	1 avril.	—	25 »	—	—	12 »	7 avril.
» » L. (*fl. plen.*).	1 »	—	—	—	18 mars.	12 »	
Vinca major. L.	—	—	—	—	—	—	14 avril.
Vitex incisus. L.	—	—	—	—	—	20 mai.	
Vitis vinifera. L.	3 mai.	28 mai.	20 mai.	21 avril.	2 mai.	2 »	25 avril.

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1861.)	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.	VIENNE.
Acanthus mollis. L.	—	—	—	—	—	—	28 juin.	
Acer campestre L.	—	1 mai.	—	—	—	10 mai.	—	30 avril.
» pseudo-platanus L.	—	—	—	—	—	10 »		
Achilleamillefolium. L.	—	1 juill.	20 juin.	20 juin.	—	15 juin.	—	16 juin.
Aconitum napellus. L.	1 juin.	—	16 juill.	2 août.	—	19 mai.	—	25 »
Æsculus hippocastanum. L.	10 mai.	15 mai.	10 mai.	16 mai.	22 mai.	9 »	—	17 mai.
» macrostachys. Mich	—	—	28 juill.	—	—	—	—	14 juill.
» pavia. L.	—	—	25 mai.	—	—	16 mai.	—	17 mai.
Ajuga reptans. L.	—	27 avril.	3 »	—	—	1 »	—	15 avril.
Alisma plantago. L	—	7 juill.	10 juill.	3 juill.	—	10 juill.		
Allium ursinum. L.	—	—	—	—	—	9 mai.	—	17 juill.
Alnus glutinosa. L.	—	20 avril.	—	—	—	2 mars.	—	10 mai.
Althæa officinalis. L.	—	—	28 août.	—	—	25 juill.		
Amygdalus communis L.	—	—	—	—	—	—	—	17 juill.
» persica. L. (*β. madel.*)	24 mars.	8 avril	—	25 avril.	24 mars.	25 mars.	—	6 avril.
Anchusa sempervirens L.	—	—	9 mai.					
Anemone hepatica. L.	—	—	20 mars.	27 févr.		15 févr.	—	9 mars.
» nemorosa. L.	22 mars.	7 avril.	18 avril.	—	—	20 mars.	—	3 avril.
Antirrhinum majus. L.	10 juin.	—	15 juin.	15 juin.	—	30 mai.		9 juin.
Arabis caucasica. Willd.	2 mars.	—	28 mars.	—	—	20 mars.		
Aristolochia clematites. L	—	—	7 juin.	—	—	—	—	25 mai.
» sipho. L.	—	—	—	—	—	10 mai.	—	27 »
Arum maculatum. L.	—	20 mai.	3 mai.	—	—	4 »	27 mai.	17 »
Asarum europæum. L.	—	—	—	—	—	15 mars.		
Asclepias vincetoxicum. L.	—	—	15 juill.	—	—	14 mai.	—	24 mai.

NOMS DES PLANTES. (*Floraison* 1861.)	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.	VIENNE.
Asperula odorata. L.	—	—	8 mai.	—	—	8 mai.	—	10 mai.
Astrantia major. L.	—	—	9 juin.	—	—	14 »		
Atropa belladona L.	—	—	17 »	6 juin.	—	3 juin.	—	4 juin.
Azalea pontica. L.	—	11 juill.	17 mai.					
Bellis perennis. L.	10 mars.	11 mars.	22 mars.	3 févr.	9 févr.	6 mars.	—	1 mars.
Berberis vulgaris. L.	4 mai.	30 mai.	25 mai.	—	6 mai.	8 mai.	28 avril.	
Betula alba. L.	—	30 avril.	8 avril.	30 avril.	7 avril.	8 »		
» alnus. L.	—	—	—	9 mars.				
Bignonia catalpa. L.	—	—	13 août.	2 juill.	24 mai.			
» radicans. L.	—	—	—	—	—	6 août.		
Borrago officinalis. L.	—	20 mai.						
Bryonia dioïca. Jacq.	—	—	—	—	—	2 juin.		
Buphtbalmum cordifolium. L.	—	—	13 juin.					
Buxus sempervirens. L.	4 avril.	—	23 avril.	—	27 mars.	2 avril.	21 mars.	6 avril.
Campanula persicifolia. L.	17 juin.	—	13 juin.	—	—	7 juin.	—	21 juin.
Cardamine pratensis. L.	—	—	—	10 avril.	—	25 mars.		
Carduus marianus. L.	—	19 juill.	17 juill.					
Carpinus betulus. L.	—	20 avril.						
Centaurea cyanus. L.	—	20 juin.	8 juin.	28 juin.				
Cercis siliquastrum. L.	—	—	—	—	—	—	20 avril.	
Cheiranthus Cheiri. L.	14 avril.	—	22 avril.	—	—	10 avril.		
Chelidonium majus. L.	—	27 mai.	17 mai.	—	19 avril.	8 mai.	14 avril.	9 mai.
Chrysanthemum leucantheumum. L.	—	1 juin.	—	—	19 mai.	18 »	—	21 »
Chrysocoma linosyris. L.	—	—	12 août.	—	—	6 août.	—	3 sept.
Colchicum autumnale. L.	—	23 sept.	2 sept.	26 sept.	—	—	—	1 »
Colutea arborescens. L.	—	—	6 juin.	—	—	5 juin.	—	1 juin.
Convallaria bifolia. L.	—	—	—	—	—	19 mai.		
» maïalis. L.	24 avril.	—	13 mai.	—	—	10 »	—	11 mai.
Convolvulus arvensis. L.	—	27 juin.	—	—	—	11 juin.		
» sepium. L.	—	7 juill.	—	—	—	18 »	1 juin.	14 juin.
Corchorus japonica. L.	2 avril.	—	23 mai.	—	19 avril.	2 avril.		
Cornus mas. L	27 févr.	12 mars.	20 mars.	—	9 mars.	20 févr.	16 mars.	18 mars.
» sanguinea. L.	—	—	28 mai.	—	—	18 juin.	16 mai.	7 juin.
Corydalis digitata. L.	—	—	—	—	—	2 avril.		
Corylus avellana. L.	28 févr.	3 mars.	1 mars.	17 févr.	10 févr.	6 févr.	—	24 févr.
Cratægus coccinea L.	21 mai.	—	24 mai.					
» oxyacantha L.	7 »	13 mai.	20 »	4 juin.	—	2 mai.	—	18 mai.
Crocus mæsiacus	—	—	—	—	—	24 févr.		
» vernus. Sw.	17 févr.	1 avril.	28 mars.	12 mars.	—	2 mars.	—	18 mars.
Cynoglossum omphalodes L.	—	—	—	—	—	20 »		
Cytisus laburnum. L.	14 mai.	20 mai.	28 mai.	—	—	9 mai.	25 avril.	24 mai.
Daphne laureola. L.	—	—	—	—	—	25 févr.	5 mars.	

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.	VIENNE.
Daphne mezereum. L.	—	10 mars.	5 mars.	15 avril.	—	14 févr.	14 mars.	4 févr.
Delphinium Ajacis. L.	—	27 juin.	28 juin.					
Dianthus caryophyllus. L.	16 juin.	—	—	—	—	—	27 mai.	
Dictamnus albus. L.	10 »	—	—	—	—	30 mai.	15	31 mai.
Digitalis purpurea. L.	—	3 juill.	8 juin.	18 juin.	—	10 juin.	—	3 juin
Dodecatheon meadia. L.	13 mai.							
Echinops sphærocephalus. L.	—	—	23 juill.	—	—	—	—	10 juill.
Epilobium spicatum. Lam.	—	—	15 juin.					
Equisetum arvense. L.	—	—	—	—	—	—	—	5 avril.
Erica vulgaris. L.	—	7 juill.	—	—	—	18 juill.		
Eschscholzia californica. Chm.	—	—	—	—	—	1 juin.		
Evonymus europæus. L.	11 mai.	9 juin.	22 mai.	—	—	20 mai.	—	29 mai.
» latifolius. Mill.	11 »	—	1 juin.	—	—	18 »	—	13 »
Fragaria vesca. L. (*β hortens.*)	5 »	18 avril.	15 mai.	24 mai.	—	20 avril.	—	17 avril.
Fraxinus excelsior. L.	—	—	—	—	—	18 »	—	9 »
Fritillaria imperialis. L.	—	—	15 avril.	30 avril.	—	8 »		
Galanthus nivalis. L.	16 févr.	10 mars.	20 févr.	21 févr.	—	15 févr.		
Gentiana cruciata. L.	—	—	30 mai.					
Geranium pratense. L.	24 mai.	—	30 »	—	—	24 mai.		
» sanguineum. L.	—	—	—	—	—	6 »		
Gladiolus communis. L.	16 juin.	—	8 juin.	—	—	—		
Glechoma hederacea. L.	—	7 mai.	18 avril.	—	13 avril.	4 avril.	5 juin.	16 juin
Glycine sinensis. L.	22 mai.	—	—	—	—	—	—	1 avril.
Hedysarum onobrychis. L.	—	—	—	—	—	—	—	23 mai.
Helleborus fœtidus. L.	—	—	10 mars.	—	—	22 févr.		
» hiemalis. L.	—	—	21 févr.	1 févr.	—	15 »		
» niger. L.	28 févr.	—	16 »	—	—	24 janv.	—	21 févr.
» viridis. L.	—	—	24 mars.	—	—	20 févr.	7 mars.	6 »
Hemerocallis cœrulea. Andr.	20 juin.	20 juill.	8 juill.	—	—	10 juill.		
» flava. L.	6 »	—	18 juin.	—	5 juin.	10 juin.		
» fulva. L.	—	23 juill.	6 juill.	—	—	24 »	—	9 juin.
Hibiscus syriacus L.	—	—	28 août.	—	—	22 juill.	—	24 »
Hieracium aurantiacum. L.	—	—	—	—	—	1 juin.	1 juill.	
Hyacinthus botryoïdes. L.	—	31 mars.	—	—	—	30 mars.		
» orientalis. L.	24 mars.	—	—	12 avril.	16 avril.	1 avril.	—	1 avril.
Hydrangea hortensis. Sm.	—	30 août.	18 août.					
» arborescens	—	—	—	—	—	10 juin.		
Hypericum perforatum. L.	—	—	20 juin.	—	—	15 »	27 juin.	14 juin.
Iberis sempervirens. L.	—	—	13 mai.	—	—	1 avril.	—	15 avril.
Ilex aquifolium. L.	—	20 mai.	31 »	—	—	2 mai.	10 juin.	
Iris florentina. L.	25 mai.							
» germanica. L.	24 »	20 mai.	24 mai.	2 mai.	—	19 »		

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.	VIENNE.
Iris pumila. L.	10 avril.	—	25 avril.	—	—	2 mai.	27 avril.	
Juglans regia. L.	—	20 juin.	10 juin.	4 juin.	—	1 »		
Lamium album. L.	—	15 mai.	10 mai.	20 avril.	11 avril.	16 avril.		
Leontodon taraxacum. L.	29 mars	—	3 »	29 »	9 mars.	20 mars.	—	15 avril.
Ligustrum vulgare. L.	—	—	5 juill.	—	—	15 juin.	7 mai.	12 juin.
Lilium candidum. L	4 juill.	23 juill.	13 juin.	—	—	2 juill.	7 juin.	25 »
» flavum L.	20 juin.	—	5 »	—	—	15 juin.		
Linum perenne. L.	—	—	—	—	—	10 mai.		
Liriodendron tulipifera. L.	—	29 juin.	28 juin.					
Lonicera periclymenum. L.	14 juin.	30 mai.	—	30 mai.	—	15 juin.	—	11 juin.
— symphoricarpos. L.	9 »	15 mai.	—	—	—	1 »		
— tatarica. L.	15 mai.	—	—	—	—	10 avril.	—	27 avril.
— xylosteum. L.	15 »	—	—	—	—	10 mai.	—	10 mai.
Lychnis chalcedonica. L.	—	—	20 juin.	—	—	20 juin.		
Lysimachia nemorum. L.	—	30 mai.	15 mai.					
Lythrum salicaria. L.	—	—	12 juill.	—	—	2 juill.	—	26 juin.
Magnolia grandiflora	3 avril.							
» tripetala. L.	—	—	11 juin.					
» yulan. L.	21 avril.	29 avril.	28 avril.					
Malva sylvestris. L.	—	11 juill.	20 juin.	7 juill.	—	5 juin.	22 mai.	10 juin.
Melissa officinalis. L.	—	—	8 août.	—	—	10 juill.	—	19 juill.
Mentha piperita. L.	—	—	28 »	—	—	8 »	—	25 »
Mespilus germanica. L.	—	9 mai.						
Mitella grandiflora. Pursch.	—	—	7 mai.					
Morus nigra. L.	—	17 juin.	17 juin.	—	—	—	16 mai.	
Narcissus pseudo-narcissus. L.	19 mars.	11 avril.	12 mai.	18 mars.	29 mars	1 avril.	25 avril.	8 avril.
» jonquilla. L.	—	—	20 avril.					
» poëticus. L.	28 avril.	—	—	—	25 avril.	6 mai.	—	19 avril.
Nymphea alba. L.	—	29 juin.	—	—	—	—	—	6 juin.
» lutea. L.	—	—	—	—	—	6 juill.	10 mai.	
Ornithogalum arvense. Pers.	—	31 mars.						
» umbellatum. L.	11 mai.	20 mai.	18 mai.	—	—	18 mai.	—	12 mai.
Orobus vernus. L.	—	—	16 avril.	16 mars.	—	22 mars.	21 avril.	10 avril.
Oxalis acetosella. L.	—	—	—	—	—	20 avril.	—	2 »
Pachysandra procumbens	24 mars.							
Papaver bracteatum. L.	—	—	1 juin.					
» orientale. L.	12 juin.	—	15 »	—	—	3 juin.		
» rhœas. L.	—	20 juin.	—	—	—	30 mai.	—	24 mai.
Paris quadrifolia. L.	—	20 mai.	—	—	—	2 »		
Philadelphus coronarius. L.	3 juin.	3 juin.	30 mai.	—	30 mai.	25 »	12 mai.	
— latifolius. Schr.	12 »							
Physalis Alkekengi. L.	—	—	2 juin.	17 juin.	—	20 juin.	—	12 juin.

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1861).	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.	VIENNE.
Plantago major. L.	—	17 juill.	5 juin.	—	—	22 juin.	29 mai.	
Platanus orientalis. L.	—	—	—	—	—	—	1 juin.	
Pœonia officinalis. L.	—	—	28 mai.	—	—	—	—	21 mai.
Polemonium cœruleum. L.	—	—	12 juin.	—	—	20 mai.		
Polygonum bistorta. L.	—	—	13 mai.	—	—	4 »	—	24 mai.
Populus alba. L.	5 avril.	3 mars.	—	—	—	—	—	27 mars.
» balsamifera. L.	5 »							
» fastigiata. Poir.	—	—	—	—	14 mars.	20 mars.		
» tremula. L.	6 avril.							
Primula elatior. L.	—	9 avril.	8 avril.	—	—	25 févr.		
» veris. L. [1]	12 mars.	—	3 »	26 janv.	4 avril.	2 févr.	—	29 mars.
Prunus armeniaca (β *abrie.*)	12 »	27 avril.	—	29 mars.	14 mars.	14 mars.		
» cerasus (β *big. noir.*)	8 avril.	3 mai.	26 avril.	—	—	2 avril.	—	15 avril.
» domestica (β *gr. dam. v.*)	14 »	—	—	—	—	4 »		
» padus. L.	1 mai.	—	7 mai.	—	—	26 »	—	19 avril.
» spinosa. L.	—	25 avril.	—	—	16 avril.	2 »	—	17 »
Ptelea trifoliata. L.	—	—	28 juin.	—	—	—	—	16 juin.
Pulmonaria officinalis. L.	—	—	22 avril.	8 avril.	—	20 mars.		
Pyrus communis (β *bergam.*)	10 avril.	17 avril.	—	10 mai.	—	4 avril.	14 avril.	15 avril.
» cydonia. L.	—	—	10 mai.	—	—	—	22 »	14 mai.
» japonica. L.	30 mars.	—	20 mars.	27 avril.	—	25 mars.	—	10 avril.
» malus. L. (β *calv. d'été.*)	29 »	3 mai.	22 avril.	—	—	25 avril.		
» spectabilis. Ait.	1 mai.	—	17 mai.					
Quercus sessiliflora. Smith.	—	—	—	—	—	14 mai.		
Ranunculus aquatilis.	—	—	—	19 avril.				
» acris (*fl. plen.*)	11 mai.	20 mai.	20 mai.	27 mai.	—	2 mai.	—	13 mai.
» ficaria. L.	10 mars.	—	16 avril.	12 avril.	26 févr.	24 mars.		
Rhamnus frangula. L.	—	—	—	—	—	4 juin.	—	29 mai.
Rheum undulatum. L.	27 avril.	—	20 mai.	—	—	—	—	12 »
Rhododendron pontieum. L.	22 mai.	—	24 »	—	—	18 mai.		
Rhus cotinus. L.	—	—	—	—	—	—	—	3 juin.
Ribes alpinum. L.	—	—	—	—	31 mars.	25 mars.		
» aureum. L.	—	8 avril.						
» grossularia. L. (*Fr. virid.*)	28 mars.	17 »	—	6 avril.	31 mars.	1 avril	—	1 avril.
» nigrum. L.	28 »							
» rubrum. L.	26 »	—	—	8 avril.	27 mars.	25 mars.	4 mai.	
Robinia pseudo-acacia. L.	31 mai.	—	5 juin.	—	—	—	14 »	
Rosa centifolia. L.	10 »	—	8 »	29 mai.	—	12 juin.	20 »	
» gallica. L.	12 »	—	13 »	29 »	—	12 »		
Rubia tinctorum. L.	—	—	—	—	—	—	12 juill.	
Rubus idæus. L.	18 mai.	—	—	26 juill.	—	—	—	20 mai.
Ruta graveolens. L.	—	—	25 juin.	1er »	—	15 juin.	14 mai.	8 juin.

[1] Fleurit pour la seconde fois, à Ostende, le 24 décembre.

NOMS DES PLANTES. (*Floraison* 1861.)	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.	VIENNE.
Salix capræa. L.	—	10 mars.	—	—	—	1 mars.		
Salvia officinalis. L.	—	—	12 juill.	—	—	8 juin.	23 juin.	6 juin.
Sambucus ebulus. L.	—	29 juin.	—	—	—	—	—	26 »
» nigra. L.	1 juin.	2 »	12 juin.	6 juin.	2 juin.	28 mai.	17 mai.	
» racemosa L.	8 avril.	—	20 avril.	—	—	28 avril.		
Sanguinaria canadensis. L.	10 »							
Satureia montana L.	—	—	—	—	—	22 juill.		
Saxifraga crassifolia. L.	10 avril.	—	22 avril.	—	—	21 mars.	—	15 avril.
Scabiosa arvensis. L.	—	—	20 juin.	—	—	8 juin.		
» succisa. L.	—	—	20 »	—	—	10 août.	—	2 août.
Scropbularia nodosa. L.	—	—	15 juill.	—	—	4 juin.	—	—
Secale cereale. L. (*β hyb.*)	—	—	—	—	—	—	—	31 mai.
Sedum acre. L.	—	—	10 juin.	—	—	1 juin.		
» album. L.	—	—	25 »	—	—	20 »	—	29 juin.
» telephium. L.	—	—	6 août.	—	—	5 août.		
Solanum dulcamara. L.	—	12 juin.	3 juin.	19 juin.	—	14 juin.		
Sorbus aucuparia. L.	10 mai.	—	12 mai.	—	—	12 mai.		
Spartium scoparium. L.	—	—	—	—	—	10 »		
Spiræa hella. Sims.	—	23 juin.	19 juin.					
» filipendula. L.	—	29 »	20 »	—	—	16 juin.	—	16 juin.
» hypericifolia. L.	—	—	—	—	—	—	—	11 mai.
» lævigata. L.	—	—	4 mai.					
Staphylea pinnata. L.	5 mai.	—	19 »	—	11 mai.	10 mai.	1 mai.	11 mai.
Statice armeria. L.	—	—	19 »	—	—	25 avril.	—	12 »
» limonium. L.	—	—	22 juill.					
Symphitum officinale. L.	5 mai.	—	20 juin.	28 mai.	—	1 mai.	—	24 mai.
Syringa persica. L.	10 »	—	25 mai.	—	—	1 »	—	18 »
» vulgaris. L.	28 avril.	15 mai.	5 »	20 avril.	14 mai.	1 »	18 avril.	9 »
Taxus baccata. L.	—	—	—	—	—	—	2 mai.	
Thymus serpillum. L.	—	—	—	—	—	14 juill.		
Tiarella cordifolia. L.	—	—	2 juin.	—	—	25 avril.		
Tilia microphylla. Vent.	—	—	—	—	—	—	—	22 juin.
» europæa. L.	—	—	20 juin.					
» platyphylla. Vent.	—	—	—	—	—	18 juin.		
Tradescantia virginica. L.	3 juin.	—	8 juin.	—	—	4 »	1 mai.	
Trifolium pratense. L.	—	—	—	—	—	18 mai.	—	14 mai.
Trollius europæus. D.	7 mai.	—	10 mai.	—	—	25 avril.		
Tulipa gesneriana. L.	10 avril.	—	15 —	—	—	25 »	—	12 mai.
Tussilago fragrans. L.	—	—	20 mars.	28 janv.				
Ulmus campestris. L.	16 mars.	—	20 avril.	—	—	27 mars	—	21 mars.
Vaccinium myrtillus. L.	—	—	—	—	—	12 avril.		
Valeriana rubra. L.	—	—	16 juin.	10 mai.	—	28 mai.	—	29 mai.

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1861).	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.	VIENNE.
Veratrum nigrum. L.	—	—	6 juin.					
Veronica gentianoïdes. L.	5 juin.	—	15 mai.	—	—	12 mai.		
» spicata. L.	2 juill.	—	28 juin.	—	—	20 juin.		
Viburnum lantana. L.	—	—	15 mai.	—	9 mai.	2 mai.	—	5 mai.
» opulus. L. (*fl. simple.*)	21 mai.	—	—	—	—	15 »	15 mai.	21 »
» » L. (*fl. plein.*)	—	—	—	—	—	15 »		
Vinca minor. L.	16 mars.	31 mars.	24 avril.	10 avril.	26 mars.	—	—	4 avril.
» major. L.	—	—	—	—	—	—	23 avril.	
Viola odorata. L.	10 mars.	—	8 avril.	10 mars.	26 févr.	18 févr.	19 mars.	25 mars.
Vitis vinifera. L. (*β chass. doré*)	23 juin.	—	—	—	—	—	10 juin.	14 juin.
Waldsteinia geoïdes. Kit.	—	—	13 avril.	—	—	22 mars.	—	2 avril

NOMS DES PLANTES. (*Fructification*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	NAMUR.	VENISE.
Acanthus mollis. L.	—	—	—	9 août.	
Acer pseudo-platanus. L.	—	30 août.			
Achillea millefolium. L.	—	16 »	—	—	6 août.
Aconitum napellus. L.	—	16 »			
Æsculus hippocastanum. L.	—	18 oct.	29 oct.		
Ajuga reptans. L.	—	28 juin.			
Alcea rosea. L.	—	16 août.			
Antirrhinum majus. L.	—	10 juill.			
Arum maculatum. L.	—	—	—	11 sept.	
Astrantia major. L	—	3 août.			
Berberis vulgaris. L.	—	16 »	—	19 août.	
Betula alba. L.	—	15 juill.	19 juin.		
Buxus sempervirens. L.	—	—	—	20 août.	
Cercis siliquastrum. L.	—	—	—	29 »	
Chelidonium majus. L.	—	8 juin.	—	3 juin.	20 juin.
Convallaria maialis. L.	—	6 août.			
Convolvulus sepium. L.	—	—	—	10 juill.	
Cornus mascula. L.	—	18 août.	—	18 »	20 août
» sanguinea. L.	—	—	—	26 août.	
Corylus avellana. L.	—	13 août.	21 août.		
Cratægus oxyacantha. L.	—	16 sept.	20 »	—	27 août.
Cydonia vulgaris. L.	—	—	—	11 sept.	

NOMS DES PLANTES. (*Fructificotion*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	NAMUR.	VENISE.
Cytisus laburnum. L.	—	8 sept.	—	7 août.	5 août.
Daphne mezereum. L.	—	8 juin.	2 juill.	16 juill.	14 juin.
» laurcola. L.	—	—	—	13 »	
Dianthus caryophyllus. L.	—	—	—	17 »	
Dictamnus fraxinella. L.	—	—	—	17 »	
Digitalis purpurea. L.	—	16 juill.			
Fragaria vesca. L. (β *Hortens.*)	14 juin.	—	—	—	12 juin.
Gladiolus communis. L.	—	8 août.	—	7 août.	29 juill.
Hibiscus syriacus. L.	—	—	—	22 »	
Hippophae rhamnoïdes. L.	—	—	29 août.		
Hypericum perforatum. L.	—	23 août.	—	8 juill.	22 août.
Ilex aquifolium. L.	—	—	—	17 déc.	
Juglans regia. L.	—	20 sept.	15 sept.		
Ligustrum vulgare. L.	—	20 »	—	16 oct.	1 sept.
Lonicera periclymenum. L.	—	—	—	—	30 juill.
Malva sylvestris. L.	—	29 juill.	—	30 juin.	
Morus nigra. L.	—	—	—	10 juill.	
Nuphar luteum. L.	—	—	—	16 août.	
Orobus vernus. L.	—	17 juill.	—	21 juin.	
Papaver orientale. L.	—	10 »	—		
Philadelphus coronarius. L.	—	4 sept.	—	14 août.	1 sept.
Plantago major. L.	—	—	—	29 juill.	
Platanus orientalis L.	—	—	—	27 oct.	
Prunus cerasus. L. (β *bigarr. n.*)	17 juin.	—	—	—	29 juin.
Pyrus communis. (β *berg.*)	—	—	10 sept.	24 août.	
Ribes grossularia. L.	23 juin.	5 juill.	29 juin.		
» nigrum. L.	—	15 »			
» rubrum. L.	20 juin.	15 »	19 juill.	23 juin.	
Robinia pseudo-acacia. L.	—	—	—	20 sept.	
Rosa centifolia. L.	—	—	—	24 août.	
Rubia tinctorum. L.	—	—	—	17 oct.	
Rubus idæus. L.	24 juin.	20 août.			
Ruta graveolens. L.	—	—	—	16 juill.	
Salvia officinalis. L.	—	9 juill.	—	17 »	5 juill.
Sambucus nigra. L.	—	12 oct.	—	7 »	12 août.
Secale cercale. L.	—	—	—	—	12 juill.
Sorbus aucuparia. L.	—	16 sep.	—		
Stapbylea pinnata. L.	—	13 nov.	—	12 sept.	
Syringa vulgaris. L.	—	12 sept.	—	23 juill.	
Taxus baccala. L.	—	—	—	8 sept.	
Tradescantia virginica. L.	—	—	—	11 juill.	
Triticum sativum. L. (β *hybern.*,	—	—	—	—	9 juill.

NOMS DES PLANTES. (*Fructification*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	NAMUR.	VENISE.
Viburnum opulus. L. (*fl. simpl.*).	—	—	—	27 oct.	5 août.
Viola odorata. L.	—	8 juin.	—	16 mai.	21 juin.
Vitis vinifera. L. (*Chasselas doré.*)	—	—	28 août.	29 août.	12 sept.

NOMS DES PLANTES. (*Chute des feuilles*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.
Acanthus mollis. L.	—	—	—	—	—	25 sept.
Acer campestre. L.	12 nov.	14 nov.	—	—	17 nov.	
» pseudo-platanus. L.	14 »	25 oct.	—	14 nov.	6 »	
Aesculus hippocastanum. L.	3 »	28 »	5 nov.	14 »	1 »	
» lutea. Pers.	—	—	—	—	20 sept.	
» pavia. L.	—	—	—	—	1 nov.	
Amygdalus communis. L.	—	16 nov.				
» persica. L. (β *mad.*)	18 nov.	—	30 oct.	3 déc.	17 nov.	
Aristolochia sipho. L.	—	—	—	10 nov.	10 oct.	
Betula alba. L.	15 nov.	27 oct.	21 nov.	—	16 nov.	
Berberis vulgaris. L.	17 »	20 nov.		3 déc.	16 »	29 sept.
Bignonia catalpa. L.	14 »	18 »	9 oct.	20 nov.	—	20 nov.
» radicans. L.	—	—	—	—	6 nov.	
Carpinus betulus. L.	14 nov.	14 nov.	—	14 nov.	15 »	
Cercis siliquastrum. L.	14 »	—	—	—	15 »	7 déc.
Colutea arborescens. L.	—	—	—	—	8 »	
Convolvulus sepium. L.	—	—	—	—	—	26 sept.
Corchorus japonicus. L.	—	—	—	1 déc.	17 nov.	
Cornus mascula. L.	—	25 nov.	—	—	15 »	27 oct.
» sanguinea. L.	—	—	—	—	15 »	29 nov.
Corylus avellana. L.	14 nov.	7 nov.	29 oct.	14 nov.	2 »	
Cratægus oxyacantha. L.	15 »	4 »	25 »	—	15 »	
Cydonia vulgaris. L.	—	—	—	—	—	6 déc.
Cytisus laburnum. L.	28 oct.	10 nov.	—	—	15 nov.	7 »
Daphne mezereum. L.	—	—	—	—	12 »	29 oct.
» laureola. L.	—	—	—	—	—	27 »
Dictamnus fraxinella. Lam.	—	—	—	—	—	17 sept.
Evonymus europæus. L.	16 nov.	10 nov.	—	—	15 nov.	
» latifolius. Mill.	—	—	—	—	15 »	

NOMS DES PLANTES. (*Chute des feuilles*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.
Fagus castanea. L.	14 nov.	—	—	19 nov.	7 nov.	
» sylvatica. L.	—	26 nov.	—	16 »	17 »	
Ficus carica. L.	—	—	—	14 »		
Fraxinus excelsior. L.	29 oct.	20 nov.	—	19 »	17 nov.	
Ginkgo biloba. L.	—	—	—	—	4 »	
Glycine sinensis. L.	24 nov.	3 déc.	—	—	16 »	
Gymnocladus canadensis. Lam.	—	—	—	—	25 oct.	
Hibiscus syriacus.	—	—	—	—	—	1 déc.
Hippophäe rhamnoïdes. L.	—	—	—	—	15 nov.	7 »
Hydrangea arborescens. L.	24 nov.	—	—	—	6 »	
Juglans nigra. L.	—	—	—	4 nov.		
» regia. L.	19 nov.	4 nov.	17 oct.	12 »	6 nov.	
Ligustrum vulgare. L.	—	—	—	—	18 »	23 nov.
Liriodendron tulipifera. L.	—	20 nov.				
Lonicera periclymenum. L.	—	1 »	—	—	10 nov.	
» symphoricarpos. L.	—	15 »	—	23 nov.	15 »	
» tatarica. L.	—	—	—	—	1 »	
» xylosteum. L.	14 nov.	—	—	—	17 »	
Malva sylvestris. L.	—	—	—	—	—	4 août.
Mespilus germanica. L.	—	—	—	—	17 nov.	
Morus alba. L.	—	—	—	—	17 »	
» nigra. L.	20 nov.	22 nov.	—	19 nov.	14 »	24 nov.
Orobus vernus. L.	—	—	—	—	—	28 juill.
Philadelphus coronarius. L.	16 nov.	5 nov.	—	14 nov.	6 nov.	20 oct.
Pinus larix. L.	—	—	—	—	12 »	
Plantago major. L.	—	—	—	—	—	27 oct.
Platanus occidentalis. L.	14 nov.	12 nov.	—	—	10 nov.	
» orientalis. L.	—	—	—	—	—	9 déc.
Populus alba. L.	8 nov.	12 nov.				
» fastigiata. Poir.	—	—	—	14 nov.	10 nov.	
» tremula. L.	—	—	—	—	10 »	
Prunus armeniaca. L. (β *abric.*)	17 nov.	—	—	1 déc.	17 »	
» cerasus. L. (*big. noir.*)	22 oct.	—	—	14 nov.	4 »	
» domestica. L. (β *gr. dam. v.*)	30 »	—	—	15 »	2 »	
» padus. L.	2 nov.	26 oct.	—	—	4 »	
Ptelea trifoliata. L.	—	—	—	—	10 »	
Pyrus communis. (β *bergam.*)	14 nov.	10 nov.	20 oct.	23 nov.	6 »	3 déc.
» japonica. L.	14 »	10 »	—	—	2 »	
» malus. L. (β *calville d'été*)	14 »	28 oct.	—	19 nov.	2 »	
Quercus pedunculata. Wild.	20 »	—	—	—	15 »	
» sessiliflora. L.	—	15 nov.	—	—	15 »	
Rhamnus catharticus. L.	—	—	—	—	10 »	

NOMS DES PLANTES. (*Chute des feuilles*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VENISE.
Rhamnus frangula. L.	—	—	—	—	10 nov.	
Rhus typhina. L.	—	13 oct.				
Ribes alpinum. L.	27 oct.	—	—	14 nov.	15 nov.	
» grossularia. L.	9 »	—	—	14 »	15 »	
» nigrum. L.	5 »	—	—	30 »	15 »	
» rubrum. L.	5 »	—	—	—	8 »	2 nov.
» sanguineum. L	—	—	—	14 nov.		
Robinia pseudo-acacia. L.	1 nov.	26 oct.	—	19 »	15 nov.	24 nov.
» viscosa. Vent.	—	—	—	19 »		
Rosa centifolia. L.	—	16 nov.	2 nov.	—	17 nov.	1 déc.
» gallica. L.	18 nov.	—	—	—	17 »	
Rubia tinctorum. L.	—	—	—	—	—	27 nov.
Rubus idæus. L.	13 nov.	16 nov.	—	28 nov.		
Ruta graveolens. L.	—	—	—	—	—	10 nov.
Salix alba. L.	—	28 oct.	—	—	10 nov.	
» babylonica. L.	—	16 nov.	—	28 nov.		
Salvia officinalis. L.	—	—	—	—	—	25 oct.
Sambucus nigra L.	30 oct.	16 nov.	19 oct.	3 déc.	6 nov.	1 oct.
» racemosa L.	—	—	—	—	6 »	
Sorbus aucuparia. L.	12 nov.	21 nov.	—	12 nov.	10 »	
Spiræa hypericifolia. L.	—	10 »				
Staphylea pinnata. L.	15 nov.	28 oct.	—	14 nov.	6 nov.	19 oct.
Syringa persica. L	—	8 nov.	—	13 »	6 »	
» rothomagensis. L.	—	—	—	13 »	6 »	
» vulgaris. L.	14 nov.	8 nov.	—	14 »	6 »	19 nov.
Tilia americana. L.	12 oct.					
» parvifolia. Hoffin.	—	17 nov.				
» platyphylla Vent.	12 oct.	27 oct.	—	—	17 nov.	
Ulmus campestris. L	12 nov.	10 nov.	—	14 nov.	10 »	
Vaccinium myrtillus. L.	—	—	—	—	8 »	
Viburnum lantana. L.	14 nov.	—	—	—	1 déc.	
» opulus. L. (*fl. simpl.*)	—	25 nov.	—	18 nov.	15 nov.	17 nov.
Vinca major. L.	—	—	—	—	—	11 sept.
Vitex incisa. L	—	—	—	—	20 oct.	
Vitis vinifera. L. (β *chass. doré.*)	18 nov.	10 nov.	8 oct.	18 nov.	4 nov.	24 nov.

PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES NATURELS.

RÈGNE ANIMAL.

Observations faites dans les environs de Bruxelles, pendant l'année 1861,
par MM. J.-B. Vincent et fils.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Janvier 27. *Anser segetum.* Repasse.
Février 16 au 17 (nuit du). *Turdus musicus.* Repasse.
18. *Fringilla cœlebs.* Chante.
Mars 3. *Vanellus cristatus.* Repasse.
7. *Charadrius pluvialis.* Repasse.
10. *Totanus pugnax.* Repasse.
10. *Gallinula gallinago.* Repasse.
10. *Strix aluco.* Ponte.
19. *Motacilla alba.* Arrive.
20. *Corvus frugilegus.* Ponte.
20. *Parus caudatus.* Nidifie.
24. *Ruticilla tithys.* Arrive.
24. *Phyllopneuste rufa.* Arrive.
24. *Emberiza miliaria.* Arrive.
24. *Saxicola rubicola.* Arrive.
24. *Charadrius minor.* Repasse.
25. *Motacilla alba.* Nidifie.
26. *Hirundo rustica.* Arrive.
28. *Corvus corone.* Nidifie.
29 au 30 (nuit du). *Numenius arquata.* Repasse.
31. *Saxicola rubetra.* Arrive.
Avril 1. *Alcedo ispida.* Ponte.
1. *Pica caudata.* Nidifie.
6. *Saxicola œnanthe.* Arrive.
Avril 7. *Motacilla flava.* Arrive.
7. *Anthus arboreus.* Arrive.
8. *Hirundo riparia.* Arrive.
10. *Ruticilla tithys.* Nidifie.
10. *Motacilla boarula.* Nidifie.
12. *Hirundo urbica.* Arrive.
14. *Phyllopneuste trochilus.* Arrive.
15. *Sturnus vulgaris.* Nidifie.
16. *Corvus monedula.* Nidifie.
18. *Ruticilla luscinia.* Arrive.
18. *Sylvia curruca.* Arrive.
18 au 19 (nuit du). *Numenius arquata.* Repasse.
19. *Calamoherpe pragmitis.* Arrive.
21. *Sylvia atricapilla.* Arrive.
21. *Cuculus canorus.* Arrive.
21. *Cypselus apus.* Arrive
23. *Emberiza hortulana.* Arrive.
26. *Upupa epops.* Arrive.
28. *Muscicapa ficedula.* Repasse.
Mai 5. *Totanus hypoleucos.* Repasse.
8. *Emberiza hortulana.* Nidifie.
9. *Sylvia hortensis.* Arrive.
9. *Calamoherpe turdoïdes.* Arrive.
10. *Hypolaïs icterina.* Arrive.

Mai 15. *Lanius rufus.* Nidifie.
15. *Picus viridis.* Nidifie.
15. *Fringilla coccothraustes.* Nidifie.
15. *Emberiza miliaria.* Nidifie.
15. *Sylvia luscinia.* Nidifie.
15. *Saxicola rubecula.* Nidifie.
Mai 15. *Hypolaïs icterina* Nidifie.
20. *Cypselus apus.* Ponte.
20. *Fringilla chloris.* Nidifie.
25. *Sylvia hortensis.* Nidifie.
28. *Muscicapa ficedula.* Nidifie.
Juin 10. *Calamoherpe turdoïdes.* Nidifie

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Juillet 26. *Totanus hypoleucos.* Première arrivée.
27. *Cypselus apus.* Départ général.
Août 11 au 13. (Nuit du) *Totanus hypoleucos.* Passage général.
15. *Hirundo urbica.* Départ général.
27. *Motacilla flava.* Émigre.
31 *au* 1er septembre. (Nuit de) *Numenius arquata.* Passe.
Septembre 5 *au* 6. (Nuit du) *Numenius arquata.* Passe encore.
6. *Anthus arboreus.* Émigre.
17. *Totanus hypoleucos.* Dernier passage.
25. *Parus major.* Passe.
28. *Paras cœruleus.* Passe.
29. *Emberiza schœniclus.* Émigre.
29. *Cypselus apus.* Dernier passage.
30. *Alauda arvensis.* Émigre.
30. *Fringilla cœlebs.* Émigre.
Septembre 30. *Fringilla chloris.* Émigre.
30. *Sturnus vulgaris.* Émigre.
30. *Fringilla montifringilla.* Émigre.
31. *Anthus pratensis.* Émigre.
Octobre 2 au 3. (Nuit du) *Turdus musicus.* Émigre
3. *Motacilla boarula.* Arrive.
6. *Astur nisus.* Passe.
6. *Buteo communis.* Passe.
8. *Corvus cornix.* Passe.
8. *Corvus frugilegus.* Passe.
12. *Fringilla linaria.* Passe.
17. *Regulus ignicapillus.* Passe.
18. *Fringilla spinus.* Passe.
20. *Emberiza citrenella.* Passe.
20. *Anser segetum.* Passe en grand nombre.
20. *Buteo communis.* Passage général.
20. *Avocetta recurverostra.* Passe.

INSECTES.

Mars 19. *Geotrupes stercorarius.* Apparition.
25. *Vanessa polychloros.* Vole.
Mars 24. *Colias rhamni.* Vole.
Mai 11. *Melolontha vulgaris.* Apparition.

Observations faites à Waremme, en 1861, par MM. DE SELYS-LONGCHAMPS et Michel GHAYE.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Janvier	5.	*Anser segetum.* Passe.	*Avril*	16	*Cuculus canorus.* Arrive.
Mars	26.	*Ruticilla tithys.* Arrive.		22.	*Cypselus œpus.* Arrive.
Avril	1.	*Hirundo rustica.* Arrive.	*Mai*	14	*Hypolaïs icterina.* Arrive.

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Août	10.	*Upupa epops.* Repasse.	*Octobre*	7.	*Acrydium migratorium.* Observé.
	15.	*Muscicapa ficedula.* Repasse.		12.	*Turdus iliacus.* Passe.
	27.	*Turdus musicus.* Repasse.		12.	*Corvus cornix.* Arrive.
	27.	*Hirundo rustica.* } Départ principal.		12.	*Fringilla spinus* Arrive.
	27.	*Hirundo urbica.* }		13.	*Ruticilla tithys.* Passage (rare) à Waremme.
Octobre	6, 16 et 20.	*Grus cinerea.* Passage.			

PASSAGES ACCIDENTELS.

Janvier	7.	*Colymbus septentrionalis.* A Liége par une température de — 15° C.
Octobre	8.	*Nucifraga caryocatactes.*

Observations faites à Jemeppe-sur-Meuse, en 1861, par M. ALF. DE BORRE.

Janvier	29.	*Parus major.* Chante.	*Février*	27.	*Sturnus vulgaris.* Chante.
Février	8.	Vu voler une *Chauve-souris.*	*Mars*	1.	*Fringilla cœlebs.* Chante.
	9.	On me rapporte avoir vu voler des *papillons* près de Chockier.		12.	*Passer domesticus.* Pariade.
				14.	Volées d'*Alouettes.* Passent.
	16	*Sylvia troglodytes.* Chante.		17.	*Emberiza citrinella.* Chante.
	23.	*Aphodius fimetarius.*		17.	*Attagenus pellio.*
	25.	*Helix nemoralis.* Vu pour la 1re fois.		21.	*Corvus monedula.* Nidifie.

Mars 23. *Fourmis.*
23. *Apis mellifica.*
23. *Pieris napi.*
23. *Vanessa polychloros.*
24. *Sylvia cinerea.* Vu pour la 1re fois.
24. *Colias rhamni.*
24. *Harpalus æneus.*
24. *Sitona lincellus.*
24. *Oxythyrea stictica.*
25. *Sylvia tithys.* Arrivée et premier chant.
25. *Carpes.* Viennent pour la première fois à la surface de l'eau.
25. *Badister bipustulatus.*
26. *Amara nitida.*
27. *Helix nemoralis.* Apparait en nombre.

Avril 5. *Pœcilus cupreus.*
11. *Hirundo rustica.* Arrivée.
16. *Carabus auratus.*
17. *Trachys minuta.*
19. *Sylvia luscinia.* Arrivée.
19. *Hirundo urbica.* Arrivée.
19. *Valgus hemipterus.*
20. *Chrysomela hæmoptera.*
20. *Agriotes variabilis.*
21. *Sylvia atricapilla.* Chante.
26. *Melolontha vulgaris.*
27. *Sylvia luscinia.* Chante.
27. *Zerene grossularia.* Chenilles écloses sur le *Ribes alpinum.*

Mai 6. *Cuculus canorus.* Chante.
7. *Cypselus apus.* Arrivée.
7. *Sylvia hypolaïs.* Arrivée.
10. *Muscicapa griseola.* Arrivée.
11. *Anobium tessellatum.*
12. *Telephorus obscurus.*
12. *Otiorhynchus raucus.*
12. *Cleonus trisulcatus.*
12. *Trichodes alocarius.*
12. *Cytilus varius.*
21. *Polyopsia prœusta.*
22. *Cerambix cerdo.*
23. *Alheus leucophœus.*
26. *Catops fuscus.*
26. *Corymbites latus.*
27. *Cossonus linearis.*
28. *Cetonia aurata.*
31. *Libellula depressa.*
31. *Elatérides* et *Téléphorides* en abondance.
31. *Crioceris merdigera.*

Juin 1. *Phyllopertha horticola*
3. *Pieris cratægi.*
4. *Pachyta 10-maculata.*
4. *Corymbites hæmatodes.*

Juin 4. *Pieris cardamines.*
9. *Macroglossa bombyliformis.*
16. *Lamia textor.*
16. *Calvia 14-guttata.*
16. *Zerene grossularia.*
24. *Gnorimus nobilis.*
25. *Trichius gallicus.*
25. *Oberea pupillata.*
27. *Trichodes apiarius.*

Juillet 12. *Zabrus gibbus.*
12. *Armoia moschata*

Août 1. *Cypselus apus.* Départ.
1. *Papilio Machaon.* (Chenille).
7. Vu deux *Cypselus apus.*

Novembre 15, 17, 18 et 21. Passage de bandes de corbeaux.

Observations faites à Vilvorde, près de Bruxelles, en 1861, par M. Alf. Wesmael.

Février 17. *Pinson.* Chante.

Mars 25. *Alouette.* Chante.
28. *Merle.* Chante.

Avril 11. *Fauvette à tête noire.* Arrive.
11. *Rossignol.* Chante.

Mai 1. *Coucou.* Chante.
11. (dans la soirée) *Hanneton.* Apparait.

Observations faites à Melle, près de Gand, en 1861, par M. le professeur Bernardin.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Janvier 2, 4 et 8. *Anas boschas.* Passe.
4. *Anas penelope.* Passe.
4 et 8. *Anser segetum.* Passe.
7. *Columba palumbus.* Passe.
Février 11. *Ardea cinerea.* Passe.
14. *Fringilla domestica.* S'apparie.
14. *Corvus cornix.* Passe.
17. *Alauda arvensis.* Chante.
19. *Turdus pilaris.* Passe.
19. *Fringilla cœlebs.* Chante.
20. *Vespertilio pipistrellus.* Réveil.
21. *Emberiza citrinella.* Chante.
23. *Corvus corone.* Passe.
24. *Astur nisus.* Passe.
Mars 6. *Anas acuta.* Passe.
7. *Vanellus cristatus.* Passe.
7. *Corvus cornix.* Passe.
11. *Numenius phœopus.* Passe.
11. *Corvus corone.* Passe.
11. *Anser segetum.* Passe.
17. *Motacilla alba.* Arrive.
18. *Vanellus cristatus.* Passe.
21. *Corvus cornix.* Passe.
21. *Perdix cinerea.* Par couple.
22. *Fringilla domestica.* Nidifie.
23. *Vanessa atalanta.* Vole.
Mars 24. *Colias rhamni* Vole
30. *Falco subbuteo.* Passe.
Avril 7. *Vanessa utricæ.* Vole.
Avril 11. *Apis mellifica* Vole.
11. *Sylvia luscinia.* Vu ?
13. *Hirundo rustica.* Arrive.
21. *Sylvia atricapilla* Arrive.
22. *Sylvia luscinia.* Chante.
22. *Cypselus apus.* Arrive.
27. *Cuculus canorus.* Chante.
28. *Bibio ater.* Vole.
Mai 1. *Oriolus galbula.* Chante.
2. *Hirundo urbica.* Arrive.
8. *Sylvia hypolaïs.* Chante.
10. *Ardea minuta.* Pris à Landscauter.
11. *Saxicola rubetra.* Arrive.
Mai 11. *Totanus chloropus.* Passe.
15. *Rallus crex.* Arrive.
20. *Agrion minium.* Vole.
25. *Melolontha vulgaris.* Vole.
26. *Coturnix dactylisonans.* Chante.
Juin 10. *Staphylins.*
12. *Sylvia luscinia.* Petits volent.
13. *Agrion puella.* Grande quantité.
14. *Aphis ribis.* Attaque les groseillers.
17. *Libellula œnea.* Vole.
18. *Smerinthus tiliæ.* Vole.
21 et 23. *Aphis populi.* Passe.
23. *Staphylins.*
26. *Agrion puella.* Vole (*en quantité*).
30. Chenilles dévorent toutes les feuilles de groseillers.

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Juillet 4. *Agrion puella.* S'accouple.
21. *Staphylins.*
22. *Ciconia alba.* Passe.
30. *Staphylins.*
Août 5. *Staphylins.*
5. *Ciconia alba.* Passe.
Août 11 et 14. *Staphylins.*
19. *Cypselus apus.* Vu pour la dernière fois.
1 au 19. *Guêpes.* En quantité.
24. *Vanellus cristatus.* Passe.
24. *Agrion puella.* S'accouple.
25. *Sylvia luscinia.* Vu pour la dernière fois.

Août 27 *Staphylins.*
Septembre 9. *Anser segetum.* Passe à Grammont.
1 au 15. *Pieris brassicæ.* En quantité.
15. *Hirundo urbica.* Part.
21. *Matacilla alba.* Part.
28. *Hirundo rustica.* Départ unique.
Octobre 2, 3 et 4. *Anthus pratensis.* Passe.
6. *Sphinx atropos.* Vole.
10. *Parus ater.* Arrive.
5 au 15. *Turdus pilaris.* Passe.
16. *Anser segetum.* Passent en masse.
17. *Astur nisus.* Passe.
18. *Anser segetum.* Passe.
19. *Otis tarda.* Passe.
Octobre 21. *Anas boschas.* Passe.
21. *Alauda arvensis.* Passe.
22. *Vanessa atalanta.* Vole.
22. *Noctua nupta.* Vole.
Novembre 2. *Corvus corone.* Arrive.
19. *Anser segetum.* Passe.
19. *Charadrius pluvialis.* Passe.
24. *Anser segetum.* Passent en masse.
27. *Alauda arvensis.* Passent en grand nombre.
27. *Sturnus vulgaris.* Passent en grand nombre.
Décembre 10. *Anser segetum.* Passe.
20. *Ardea cinerea.* Passe.

Observations faites à Ostende, en 1861, par M. Édouard Lanszweert.

MAMMIFÈRES.

Janvier 5. *Talpa europæa.* Apparait.
Mars 26. *Vespertilio pipistrellus.* Réveil.

OISEAUX.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Janvier 1 et 4. *Numenius arquata.* Passe.
2, 4, 10, 18 et 21. *Cygnus musicus.* Passe par bandes.
25. *Anser segetum.* Passe.
Février 28. *Alauda arvensis.* Chante.
28. *Anser segetum.* Passe.
Mars 2. *Anser segetum.* Passe au soir se dirigeant au NE.
5 *Numenius arquata.* Passage la nuit.
9. *Vanellus cristatus.* Vu des bandes nombreuses
Mars 9. *Sturnus vulgaris* Arrive.
12. *Ruticilla phœnicurus.* Arrive.
14. *Motacilla alba.* Arrive.
Avril 3. *Emberiza citrinella.* Accouplement.
15. *Hirundo urbica.* Arrive.
16. *Corvus cornix.* Départ.
20. *Charadius pluvialis.* Vu des bandes nombreuses.
Mai 8. *Cuculus canorus.* Chante.
8. *Cypselus apus.* Arrive.

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Juillet 30. *Numenius arquata.* Passage la nuit.
Août 7. *Anser segetum.* Passage toute la journée.
9. *Cypselus apus.* Départ.
26. *Numenius arquata.* Passage, à midi, par bandes allant au NO.
Septembre 6. *Numenius arquata.* Passage toute la journée.
Septembre 25 au 28. *Anser segetum.* Passage tous les soirs.
27. *Ardea cinerea.* Passe.
24. *Hirundo urbica.* Départ.
28. *Hirundo urbica.* Départ des retardataires.
Octobre 9. *Corvus cornix.*
5, 6, 7 et 10. *Sturnus vulgaris.* Passent par bandes nombreuses.

INSECTES.

Février 10. *Geotrupes stercorarius.* Vole.
Avril 20. *Meloë proscarabeus.* Apparaît.
Mai 8. *Bibio hortulanus.* Apparaît.
14. *Melolontha vulgaris.* Apparaît.
Juin du 20 au 22. Des nuées inombrables d'*Agrion puella* se dirigent sans discontinuer de l'ONO. à l'ESE.
Juillet 15. *Melolontha fullo.* Apparaît.

REPTILES.

Février 25. *Rana temporaria.* Réveil.
25. *Triton punctatus.* Nage.
Juin 3. *Lacerta vivipara.* Réveil.

POISSONS.

Avril 10. *Scomber scombrus.* Apparition.
Septembre 7. *Clupea harengus.* Apparition.

Observations faites à Vienne, en 1861, par M. Charles Fritsch.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Fevrier	21.	*Alauda arvensis.* Chante.
	21.	*Aphodius fimetarius.* Apparition.
Mars	2.	*Apis mellifica.* Vole.
	2.	*Gyrinus mergus.* Apparition.
	19.	*Motacilla alba.* Arrive.
	24.	*Chilocorus quadripustulatus.* Apparition.
	24.	*Triton cristatus.* Réveil.
	26.	*Coccinella bipunctata.* Apparaît.
	26.	*Meloë violaceus.* Apparaît.
	26.	*Vanessa urticæ.* Vole.
	29.	*Vanessa polychloros.* Vole.
	30.	*Vanessa C. album.* Vole.
	30.	*Bombus lapidarius.* Paraît.
	30.	*Bombus terrestris.* Paraît.
	30.	*Colias rhamni.* Vole.
Avril	1.	*Hirundo urbica.* Arrive.
	3.	*Pieris napi.* Vole.
Avril	4	*Ruticilla phœnicurus.* Arrive.
	4.	*Triton tæniatus.* Réveil.
	10.	*Hyla arborea.* Paraît.
	11.	*Pieris cardamines.* Vole.
	11	*Meloë proscarabeus.* Apparaît.
	12.	*Lacerta agilis.* Apparaît.
	17.	*Melolontha vulgaris.* Apparaît.
Mai	9.	*Telephorus rusticus.* Apparaît.
	10.	*Cetonia aurata.* Apparaît.
	10.	*Cuculus canorus.* Chante.
	11.	*Bibio hortulanus.* Apparition.
	14.	*Lacon murinus.* Vole.
	15.	*Byrrhus pilula.* Apparaît.
	15.	*Libellula depressa.* Sort de chrysalide.
	17.	*Malachius æneus.* Apparaît.
	18.	*Cypselus apus.* Arrive.
	27.	*Oxythyrea stictica.* Apparaît.
	27.	*Pieris brassicæ.* Vole la première fois

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Août	15.	*Œdipoda migratoria.* Apparaît.

OBSERVATIONS FAITES A DES ÉPOQUES DÉTERMINÉES.

État de la végétation le 21 mars 1861.

(Pour la Feuillaison, on représente par t, feuillage complet; 3/4, feuilles aux trois quarts de leur grandeur; 1/2, moitié grandeur; 1/4, quart de grandeur; 1/8, bourgeons ouverts ou très-petites feuilles initiales; par *bourgeons*, on entend seulement ceux qui sont à moitié ouverts; et par 0 absence de feuillaison)

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES. — (M. A. Quetelet)	VILVORDE. — (M. Wesmael.)	ANVERS. — (M. Rigouts.)	OSTENDE — (M. Lanszweert.)	LIÉGE. — (M. Dewalque.)	SPA. — (M. Husson.)	JEMEPPE. — (M. de Borre.)	NAMUR. — (M. Bellynck.)	WAREMME. — (M. de Selys.)	MELLE. — (M. Bernardin.)	MUNSTER. — (M. Heis.)	VIENNE. — (M. Frilsch.)
Feuillaison.												
Æsculus hippocastanum. .	Bourgeons.	Bourgeons.	1/8	—	Bourgeons.	—	Bourgeons.	Bourgeons.	—	Bourgeons.	0	Bourgeons.
— pavia	—	—	—	—	—	—	—	—	1/8			
Alnus glutinosa	—	—	1/8	—	—	—	—	—	—	—	1/8	0
Amygdalus communis. . .	Bourg.	—	Bourg.	—	—	—	—	—	0	Bourg.	1/8	
— persica.	—	—	Id.	—	—	—	—	—	Bourgeons.	—	Bourgeons.	Bourg.
Aristolochia sipho.	—	—	—	—	—	—	—	—	Id.			
Arum maculatum	—	3/4	3/4	1/2	—	3/4	—	3/4	—	3/4	1/2	
Betula alba	—	—	1/8	—	0	—	0	—	Bourg.	—	Bourg.	Id.
— alnus												
Berberis vulgaris	1/8	—	1/4	—	1/8	1/8	Bourg.	—	—	Bourg.	1/8	0
Bignonia radicans.	—	—	—	—	—	—	—	—	0			
Carpinus betulus	—	—	Petits bourg.	—	—	—	0	—	0	—	1/8	0
Cerasus avium: Mœnch. .	—	Bourg.										
Cercis siliquastrum	—	—	—	—	—	—	—	—	1/8			
Colutea arborescens. . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bourg.	
Corchorus japonica	1/2	—	1/4	—	1/8	—	Bourg.	—	1/4	Bourg.	0	1/2
Cornus mascula	—	—	0	—	—	—	—	1/8	1/4	—	Bourg.	0
— sanguinea	—	—	1/8	—	—	—	—	—	1/8	—	1/8	
Corylus avellana	Bourg.	Bourg.	B. ouverts.	3/4	Petits bourg.	—	Bourg.	Bourg.	—	1/8	0	Bourg.
Cratægus oxyacantha. . .	—	Id.	1/4	—	1/8	—	Id.	—	1/8	—	Bourg.	Id.
Cytisus laburnum.	—	Id.	Bourg.	—	—	—	0	—	—	—	Id.	Id.
Daphne mezereum.	1/4	—	1/2	Bourg.	1/2	1/2	—	1/4	—	1/4	1/4	1/2
Fragaria vesca	—	1/2										
Ginkgo biloba.	—	—	—	—	—	—	—	—	0			
Gleditschia horrida	—	—	—	—	—	—	—	—	0			
Hydrangea hortensis . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	1/8
Juglans regia	—	—	—	—	—	—	—	—	0			
Larix europœa	—	—	—	—	1/8	—	0	—	—	—	1/8	
Liriodendron tulipifera . .	—	—	—	—	—	—	—	—	Bourg.			
Lonicera periclymenum. .	1/2	—	3/4	Bourg.	1/4	1/2	1/8	—	0	1/4	1/2	1/2
— symphoricarpos.	1/4	—	1/4	—	1/4	1/4	1/8	1/4	1/4	Bourg.	1/8	1/4
— xylosteum. . . .	1/2	—	1/2	—	—	—	1/4	1/4	—	1/8	1/8	1/8

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	SPA.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	MUNSTER.	VIENNE
Feuillaison (*suite*).												
Magnolia yulan	—	—	1/8									
Mespilus germanica	—	—	1/4	—	1/8	—	—	—	0	—	1/8	
Philadelphus coronarius .	1/4	1/4	1/8	—	—	—	1/8	—	1/4	1/8	1/8	1/4
Populus balsamifera . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	1/8			
— fastigiata	—	—	Bourgeons.	—	—	—	0					
Prunus armeniaca.	—	—	—	—	—	—	0	—	Bourgeons.	—	—	Bourgeon
— cerasus	—	—	1/8	—	—	—	Bourgeons	—	Id.	—	1/8	Id.
— domestica.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	
— padus.	—	Bourgeons.	1/8	—	—	—	0	Bourgeons.	—	—	1/8	Bourg
Pyrus communis	—	Id.	1/4	—	—	—	0	—	—	—	0	Id.
— japonica	1/2	—	1/2	0	1/2	—	0	—	1/4	1/8	1/8	1/2
Rhus cotinus	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—	1/8	
Ribes alpinum.	—	—	—	—	—	—	—	1/4	—	—	1/4	1/2
— grossularia	1/2	—	1/2	3/4	1/2	1/4	1/8	1/4	—	1/4	3/4	1/1
— nigrum	1/2	—	1/4	—	1/4	1/8	1/8	1/4	1/4	1/8		
— rubrum	3/4	1/4	1/4	Petits bourg.	1/4	—	Bourg.	—	1/8	1/4	—	1/8
— sanguineum	1/2	—	—	—	—	—	—	—	—	1/8	—	1/8
— Uva crispa	—	—	1/8	—	—	—	—	1/2	—	—	—	1/1
Robinia pseudo-acacia . .	—	—	—	—	—	—	0					
Rosa centifolia	—	—	Bourg.	—	—	1/8	—	—	—	—	Bourgeons.	
— gallica.	—	—	1/8	—	—	Bourgeons.	—	1/8	—	—	1/8	
Salix babylonica.	1/4	—	B. avancés.	—	1/4	Id.	Bourg.	—	1/8	Bourgeons.	1/8	
Sambucus nigra	Bourgeons.	1/4	1/8	—	1/4	1/8	1/8	1/4	1/4	—	1/8	1/2
Sorbus aucuparia.	—	—	1/8	—	—	Bourg.	—	—	—	Bourg.	—	1/8
Spiræa sorbifolia	1/2	—	1/4	—	—	Id.	—	—	—	—	1/1	1/2
Staphylæa pinnata	—	—	Commence	—	—	Id.	Bourg.	1/4	—	—	—	Bourg
Syringa persica	1/4	—	1/8	—	1/8	Id.	Id.	1/4	1/8	—	1/8	1/8
— vulgaris	1/2	1/4	1/8	—	1/8	1/8	1/8	1/4	1/4	1/8	1/8	1/8
Tilia europæa.	—	—	1/8	—	—	—	0	—	—	Bourg.		
Ulmus campestris.	—	—	Bourg.	—	—	—	Bourg.	—	—	Id.	—	0
Viburnum lantana.	—	—	1/8	—	—	—	—	1/8	—	—	—	1/8
— opulus	1/4	—	1/8	—	1/8	—	1/8	Bourg.	—	Bourg.	Bourg.	1/8
Vitis vinifera	—	—	0	—	—	—	—	—	—	0		
Floraison.												
Adoxa moscatellina	—	Commence.										
Alnus glutinosa	—	—	Boutons	—	—	Générale.	—	—	Terminée.	—	Generale.	Finie
Anemone hepatica	Commence.	—	—	—	Avancée.	Id.	—	Avancée.	Générale.	Avancée.	Id.	Avancée
— nemorosa	—	Partielle.	—	—	—	—	—	Commencée.	Id.			
Amygdalus communis. . .	—	—	0	—	—	Commencée.	—	—	—	—	—	Boutons
— persica	—	—	0	Boutons.	—	Id.	—	0	—	0	—	Id.
Arabis albida	—	—	—	—	Commence.							

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	SPA.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	MUNSTER.	VIENNE.
Floraison (*suite*).												
Arabis lilacina	—	—	—	—	Commenc^te.							
— caucasica	—	—	—	—	—	—	—	Commence.				
Arum maculatum	—	—	En spathe visible.									
Aubrietia deltoïdea	—	—	—	—	—	—	—	Commence.				
Berberis vulgaris	—	—	0									
Bellis perennis	Commence.	Commence.	—	—	Générale.	Générale.	Partielle.	Commence.	—	Commencée	Générale.	Commencée.
Betula alba	—	—	Commence.	—	—	—	—	0	Terminéc.			
Buxus sempervirens . . .	Boutons.	—	—	—	—	—	Boutons.	0	Commence.	Commencée.	Boutons.	
Cardamine pratensis . . .	—	—	—	—	—	—	Id.					
Corchorus japonica	—	—	0	—	—	—	0	0	—	0	—	0
Cornus mascula	Commence.	Avancée.	Générale.	—	Générale.	Générale.	Générale.	Avancée.	Presque finie.	0	Commencée.	Commencée.
— sanguinea	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Boutons.		
Corylus avellana	Terminée	—	Générale.	Générale.	Terminée.	Finie.	—	Finie.	Terminée.	Commencée.	Générale.	Finie.
Cratægus oxyacantha. . .	—	—	0									
Crocus vernus.	—	Avancée.	—	—	—	—	—	Générale.	Générale.	Avancée.	Générale.	Commencée.
Daphne mezereum	—	—	Générale.	—	Terminée.	Générale.	—	Finie.	Terminée	—	Id.	Générale.
— laureola.	—	—	—	—	—	—	—	Générale.				
Eranthis biemalis	—	—	—	—	Terminée.							
Galanthus nivalis	Finie.	—	—	—	Générale.	Générale.	—	Finie.	Terminée.	—	Générale.	Presque finie.
Glechoma hederacea . . .	—	Commence.	—	—	Commenc^te.	—	0					
Helleborus niger	Finie.	—	—	—	—	—	—	Finie.	Terminée.	—	Finie.	Finie?
Hyacinthus botryoides . .	—	—	—	—	—	—	Initiale.					
Lamium purpureum . . .	—	Partielle.	—	—	—	Générale.	Partielle.	Générale.	—	Avancée.	—	Générale.
Leontodon taraxacum. . .	—	Commence.	—	—	—	Commenc^te.	Initiale.	Commencée.	—	—	—	Boutons.
Luzula vernalis	—	Partielle.										
Magnolia yulan	—	—	Boutons.									
Narcissus pseudo-narcissus.	—	—	—	—	—	Commencée.	—	0	Boutons.			
Philadelphus coronarius .	—	—	—	—	—	—	0					
Primula auricula	Commence.	—	—	—	—	—	Initiale.	Commence.	—	—	Générale.	
— elatior	—	Commence.	—	—	—	—	—	—	Commence.			
— officinalis.	Commence.	—	—	—	Générale.	—	—	Commence.	—	—	Commence.	
— veris	—	—	—	—	Commenc^te.	—	0	Générale.	Générale.	—	—	Boutons.
Prunus armeniaca.	—	Boutons.	—	Boutons.	—	—	Initiale.	Id.	—	—	Commencée.	
— cerasus	—	—	—	—	—	—	0					
— spinosa	—	—	—	—	—	—	0					
Pyrus communis	—	—	Boutons.	—	—	—	Boutons.					
— japonica	—	—	Id.	—	Boutons.	—	0	0	—	Commencée	—	Boutons.
— malus	—	—	—	—	—	—	0					
Populus alba	—	Terminée.	—	—	—	—	—	0	Châtons.			
— fastigiata.	—	Commence.	Boutons	—	Pet. châtons.	—	Générale.					
Pulmonaria officinalis. .	—	Id.										

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	SPA.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	MUNSTER.	VIENN
Floraison (*suite*).												
Ribes grossularia	—	—	Boutons.	—	Boutons.	—	0					
— nigrum	—	—	0	—	—	—	0	—	—	Boutons.		
— rubrum.	—	—	0	—	—	—	0	—	—	Id.		
— sanguineum.	—	—	0	—	—	Boutons.	—	—	Commence.			
— uva crispa	—	—	0	—	—	—	—	0				
Ranunculus ficaria	—	Particlle.	—	—	Générale.	Boutons.	Initiale.	Commence.	—	—	—	Bouton
Salix capræa	—	—	—	—	—	Commencée.	—	Générale.	Générale.	—	Générale.	
Senccio vulgaris.	—	—	—	—	—	—	Initiale.	Id.				
Syringa persica.	—	—	—	—	—	—	0					
— vulgaris	—	—	—	—	—	—	0					
Tussilago farfara	—	Partielle.										
Ulmus campestris.	—	Terminée.	Petits bout.	—	—	—	—	0				
Viola odorata	Commence.	Commence.	—	—	—	Commencée.	Générale.	Générale.	Commence.	—	Générale.	Bouton
— tricolor	—	—	—	—	—	—	—	Id.				
Vinca minor.	—	Commence.	—	—	—	Boutons.	—	—	Commence.	Avancee.	—	Bouton

État de la végétation le 21 avril 1861.

(Pour la Feuillaison voycz la note en tête du premier tableau)

Feuillaison.												
Acer pseudo-platanus . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bourgeons.		
Æsculus hippocastanum. .	—	1/2	3/4	—	3/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	3/4
— pavia.	—	1/2	—	—	—	—	—	—	—	3/4		
Alnus glutinosa	—	—	3/4	—	—	Boutons.	—	1/4	1/8	1/2	1/4	
Amygdalus persica.	—	—	3/4	—	—	1/2	—	1/2	—	1/2	—	1/2
Aristolochia sipbo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/8		
Arum maculatum	—	—	1	—	—	1	1/2	1	1	—	1	1
Berberis vulgaris	—	1/2	1/2	—	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4	3/4	3/4	3/4
Betula alba	—	—	1/2	—	1/8	1/8	1/4	1/4	1/4	1/2	1/8	3/4
Bignonia catalpa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bourgeons.		
Carpinus betulus	—	Bourgeons.	Bourg.	—	—	Bourg.	1/8	1/4	1/8	1/8	1/4	1/2
Cerasus avium.	—	1/4										
Corchorus japonica	—	—	1/2	—	3/4	1/4	1/2	1	—	Gelé.	1/4	1/2
Cornus mascula	—	—	1/8	—	—	Bourgeons.	—	1/4	1/8	1/8	1/4	1/4
— sanguinea	—	—	3/4	—	—	—	—	1/4	—	3/4		
Corylus avellana	—	1/2	3/4	1/4	1/2	1/8	1/2	1/2	1/4	1/2	1/4	1/2
Cratægus oxyacantha. . .	—	1/2	3/4	1/8	1/2	3/4	3/4	1	1/2	3/4	3/4	1/2
Cytisus laburnum.	—	—	1/4	—	—	1/4	1/8	1/4	0	Bourgeons.	1/4	1/2
Daphne mezereum.	—	—	3/4	—	—	1	—	1	1	—	1	

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES	YILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	SPA.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	MUNSTER.	VIENNE.
Feuillaison (*suite*).												
Evonymus europæus . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/2		
Fagus sylvatica	—	Bourgeons	—	—	—	—	—	0	—	1/8		
Fraxinus ornus	—	Id.										
— excelsior . . .	—	—	—	—	1/8							
Ginkgo biloba.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/8		
Gleditschia horrida	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Petits bourg.		
Hydrangea hortensis . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/2		
Juglans regia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Petits bourg.		
Larix europæa	—	—	—	—	3/4	1/2	3/4	1/4	3/4	—	1/2	3/4
Liriodendron tulipifera . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/8		
Lonicera periclymenum. .	—	—	1	1/4	1	3/4	3/4	1	1	1/2	3/4	1
— xylosteum. . . .	—	—	3/4	—	—	3/4	1	1	1	—	3/4	1
— alpigena.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3/4	
— symphoricarpos .	—	—	3/4	—	1	—	—	—	—	3/4		
Magnolia yulan	—	—	1/2									
Mespilus germanica. . . .	—	—	3/4									
Philadelphus coronarius. .	—	1/2	3/4	—	—	—	—	1	—	1		
Platanus orientalis	—	—	—	—	—	—	—	1/4				
Populus alba	—	Bourgeons.	—	—	—	Bourgeons.	—	—	1/4	1/2	1/4	1/4
— fastigiata.	—	—	1/4	—	1/8	—	1/4	1/4	—	—	1/4	
— balsamifera. . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1		
Prunus armeniaca.	—	—	—	—	—	1/2	1/2	3/4	—	1	1/4	
— cerasus.	—	—	1	—	—	1/4	1/2	1/4	1/4	1	1/4	1/2
— domestica . . .	—	—	—	—	—	1/8	—	1/2	1/4	—	—	1/4
— padus	—	—	3/4	—	—	1/8	1/8	1	1/2	3/4	1/2	1
Pyrus communis	—	—	1/2	Boutons.	3/4	1/4	1/2	1/2	1/4	1/2	1/4	3/4
— cydonia	—	—	—	—	—	—	1/2	—	—	—	1/8	1/4
— japonica	—	—	1	—	1	—	—	1	—	3/4	—	3/4
— malus	—	—	—	—	—	Bourg.	—	0				
Quercus robur.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/8		
Ribes rubrum.	—	—	1/2	—	1	3/4	3/4	1	1	1	3/4	
— sanguineum.	—	—	—	—	—	3/4	3/4	1	1	—	3/4	
— nigrum	—	—	1/2	—	1	3/4	3/4	—	1	1	1	
— grossularia	—	—	3/4	1/2	1							
— uva crispa	—	—	1/4	—	—	—	1	—	1	—	3/4	
Rhus coriaria	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bourgeons.		
— cotinus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Id.		
Rosa centifolia	—	—	1/2									
— gallica.	—	—	1/2									
— rubiginosa.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/4	
Robinia pseudo acacia . .	—	—	1/8	—	—	0	0	—	—	Bourg.	Bourgeons.	1/8
Salix babylonica	—	1/4	1/4	—	3/4	1/4	1/2	—	—	1/2	1/2	1/2

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	SPA.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	MUNSTER.	VIENNE.
Feuillaison (*suite*).												
Sambucus nigra	—	1/2	1/2	—	3/4	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	1/4	
Spiræa sorbifolia	—	—	3/4	—	3/4	1/2	—	—	1	—	1/2	1
— hypericifolia . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1		
Sorbus aucuparia	—	—	3/4	—	—	—	—	—	—	1		
Syringa persica	—	—	3/4	—	1/2	—	—	—	—	3/4		
— vulgaris	—	1/2	3/4	1/2	3/4	—	3/4	1	1/2	1	1/2	3/4
Staphylæa pinnata	—	—	1/2	—	—	1/4	1/4	—	Bourg. ouv.	3/4	1/4	1/2
Tilia europæa	—	1/4	1/2	—	1/2	Bourgeons.	1/2	1/2	—	1/2	1/8	1/8
Ulmus campestris	—	—	1/2	—	—	1/8	1/4	1/4	1/4	1/4	1/8	1/4
Viburnum opulus	—	—	1/4	—	3/4	1/4	1/2	1	1/4	1/2	1/4	3/4
Vitis vinifera	—	—	1/2	—	—	0	0	—	—	1/8	Bourgeons.	1/8
Floraison												
Æsculus hippocastanum. .	—	—	Petits bout.	—	Petits bout.							
— pavia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Boutons.		
Anemone hepatica	—	—	—	—	Terminée.	Terminée.	—	Finie.	Terminée.	—	Finie.	Finie.
— nemorosa.	—	—	—	—	Avancée.	Générale.	—	Id.	Id.	Terminée.	Presque finie.	Presque fin
Amygdalus persica.	—	—	Totale.	Quelq. fleurs.	—	Presque finie.	—	—	—	Terminée.	—	Générale
Alnus glutinosa.	—	—	Commencte.	—	—	—	—	—	—	Générale.		
Arabis albida	—	—	—	—	Avancée.							
— lilacina	—	—	—	—	Générale.							
Arum maculatum.	—	—	Commencte.	—	—	—	—	—	—	Boutons.		
Betula alba	—	—	En chatons.									
Bellis perennis	—	—	—	—	Générale.	Générale.	Générale.	Générale.	Générale.	Générale.	Générale.	Générale
Berberis vulgaris.	—	—	Petits bout.	—	Petits bout.	—	—	—	—	Boutons.	—	Boutons
Buxus sempervirens	—	—	—	—	Terminée.	—	Fleurs.	Générale.	Terminée.	Commencte.	Commencee.	Presque fini
Carpinus betulus.	—	—	—	—	Générale.							
Cardamine pratensis. . . .	—	Partielle.	—	—	Générale.	—	Avancée.	—	Générale.	—	Générale.	Générale
Caltha palustris	—	Totale.	—	—	Générale.	Générale.	—	Générale.	Générale.	—	Générale.	Boutons.
Cerasus avium	—	Générale.										
Cheiranthus cheiri	—	—	—	—	Générale.	—	—	Commencée.	—	—	—	Initiale.
Chelidonium majus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Commencte.		
Convallaria maialis.	—	—	—	—	Petits bout.							
Cornus mascula.	—	—	Finie.	—	—	Finie.	—	Finie.	Terminée.	—	Finie.	Finie.
— sanguinea	—	—	Gros bout.									
Corchorus japonica.	—	—	Gros bout.	—	Commencte.	Bout. prêts à s'ouvrir.	Initiale.	Générale.	—	Gelé.	Boutons.	0
Corylus avellana	—	—	Terminée.	—	—	Finie.	—	Finie.	—	Terminée.	Finie.	Finie.
Cratægus eotoneaster . . .	—	Commencte.										
— oxyacantha . . .	—	—	Gros bout.									
Crocus vernus.	—	—	—	—	—	Finie.	—	Finie.	Terminée.	Terminée.	Finie.	Finie.
Cytisus laburnum	—	—	Petits bout.									

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	SPA.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	MUNSTER.	VIENNE.
Floraison (*suite*).												
Daphne laureola	—	—	—	—	—	—	—	Finie.	—	—	—	Finie.
— mezereum	—	—	Se termine.	—	—	—	—	Id.	—	—	Finie.	
Diclytra eximia.	—	—	—	—	Avancée.							
Draba cærulea	—	Avancée.										
Epimedium alpinum	—	Partielle.										
Eranthis hiemalis	—	—	—	—	Terminée.							
Erica herbacea	—	—	—	—	—	—	—	Finie.				
Fritillaria imperialis. . . .	—	—	—	—	—	—	—	Id.	Générale.	Générale.	Finie.	Générale.
Galanthus nivalis.	—	—	—	—	—	Finie.	—	Id.	—	—	Id.	Finie.
Glechoma hederacea. . . .	—	Totale.	—	—	—	Générale.	Générale.	Générale.	—	—	Avancée.	Presque finie.
Glycine sinensis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Gelé.		
Hyacinthus amethystinus.	—	—	—	—	—	—	Initiale.	—	presque finie.	—	Avancée.	
— botryoïdes . .	—	—	—	—	Avancée.	Commencée	Avancée.	—	Id.	—	Id.	
— racemosa . . .	—	—	—	—	Générale.							
Iris pumila	—	Commence.										
Iberis sempervirens	—	—	—	—	Générale.							
Lamium album.	—	Partielle.	—	—	Commence.	Commencée.	Commence.	Générale.	—	—	Générale.	
— purpureum. . . .	—	Totale.	—	—	—	Générale.	Générale.	Id.	Générale.	Générale.	Id.	Générale.
Leontodon taraxacum . . .	—	Générale.	—	—	Générale.	Id.	Partielle.	Id.	—	—	Commencée.	Avancée.
Lonicera alpigena	—	—	—	—	—	Boutons.	—	—	—	—	Générale.	
— periclymenum . .	—	—	Petits bout.									
— symphoricarpos .	—	—	Id.									
— xylosteum	—	—	Id.									
— biflora.	—	—	—	—	Commence.							
Magnolia yulan.	—	Gros bout.	Très-avancée.	—	Avancée.	—	—	Finie.				
Mespilus germanica	—	—	Petits bout.									
Muscari botryoïdes.	—	—	—	—	—	—	—	Id.				
Narcissus pseudo narcissus.	—	—	—	—	—	Presque finie.	—	Id.	—	Terminée.	Avancée.	
Orobus vernus	—	—	—	—	—	Boutons.	—	—	—	Id.	—	Presque finie.
Philadelphus coronarius. .	—	—	0									
Plantago lanceolata	—	Boutons.										
Pæonia officinalis	—	—	—	—	Petits bout.							
Populus alba	—	—	—	—	Terminée.	Finie.	—	—	Terminée.	—	Finie.	Finie.
— fastigiata	—	—	Commence.	—	Id.	Id.						
Primula auricula.	—	—	—	—	—	Générale.	—	Générale.	Générale.	—	Générale.	Finie.
— elatior.	—	—	—	—	—	Id.	—	Id.	Id.	—	Avancée.	
— officinalis.	—	—	—	—	—	presque finie.	—	Id.	Id.	—	Id.	Générale.
— veris.	—	—	—	—	Générale.	Générale.	Avancée.	Id.	—	—	Générale.	
Prunus armeniaca	—	—	—	—	—	presque finie.	—	Finie.	—	Terminée.		
— cerasus.	—	—	Petits bout.	—	—	Générale.	—	Générale.	Générale.	Commencée.	—	Initiale.
— domestica	—	—	—	—	—	Commencée.	—	Id.	Id.	—	—	Boutons.
— avium	—	Partielle.										

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	SPA.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	MUNSTER.	VIENNE.
Floraison (*suite*).												
Prunus padus.	—	—	0	—	—	Commencée.	—	Générale.	Boutons.	Commencée	—	Commencée
— spinosa.	—	—	—	—	—	—	—	Presquefinie.	Générale.	—	—	Avancée
Pulmonaria officinalis . . .	—	Avancée.	—	—	—	Générale.	—	—	—	—	—	Finie.
Pyrus communis	—	—	Avancée.	Boutons.	—	Commencée.	—	Générale.				
— cydonia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Boutons.
— japonica.	—	Commencée.	Gros bout.	Quelq. fleurs.	Générale	—	—	Générale.	—	Générale.	Générale.	Generale
— malus	—	—	—	—	—	Commencée.	—	Commencée.				
Ranunculus ficaria.	—	—	—	—	Avancée.	Générale.	Très-avancée.	Finie.	Générale.	Générale.	Finie.	Presquefinie
Rhododendron dahuricum.	—	—	—	—	—	—	—	—	Terminée.	—	Id	
Ribes nigrum.	—	—	Avancée.	—	Générale.	Générale.	Avancée.	Générale.	Générale.	Générale.	Avancée.	
— rubrum.	—	—	Id.	—	Id.	Id.	Id.	Finie.	Id.	Terminée.	Commencée.	
— sanguineum	—	—	—	—	—	Id.	Id.	Id.	Id.	—	Générale.	
— uva-crispa.	—	—	0	—	—	Id.	Id.	Id.	Id.	—	Commencée.	
— grossularia.	—	—	Gros bout.	—	Générale.	Id.	—	—	—	—	—	Finie.
Salix babylonica	—	—	Châtons peu visibles.									
— capræa	—	—	—	—	—	Finie.	—	Finie.	Terminée.	—	Finie.	Finie.
Saxifraga crassifolia. . . .	—	—	—	—	Générale.							
Sambucus nigra	—	—	Petits bout.									
Senecio vulgaris	—	—	—	—	—	Générale.	—	Générale.	—	—	—	Presquefinie
Sorbus aucuparia.	—	—	B. avancés.	—	—	—	—	—	—	Commencée.		
Spiræa sorbifolia.	—	—	Gros bout.									
Scilla nutans	—	—	—	—	—	—	—	0				
Staphylea pinnata	—	—	Boutons.	—	—	—	—	—	—	Boutons.		
Syringa vulgaris	—	—	Petits bout.	Quelq. fleurs.	Petits bout.	Boutons.	Boutons.	—	—	Commencée.	Boutons.	Boutons.
— persica.	—	—	Id	—	Id.	—	—	—	—	Boutons.		
Tulipa gesneriana	—	—	—	—	Boutons.							
Tussilago petasites.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Avancée.	
Ulmus campestris	—	—	Commencée									
Viburnum opulus.	—	—	0	—	—	—	—	—	—	Boutons.	—	Boutons.
Viola odorata.	—	—	—	—	—	Terminée.	—	Finie.	Terminée.	Terminée.	—	Presquefinie
Vinca minor.	—	—	—	—	Générale.	Générale.	—	Générale.	Générale.	Id.		Id.
Vitis vinifera.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Boutons.		

OBSERVATIONS.

Malgré le froid excessif qui a régné les 8 et 9 janvier 1861 et qui a fait descendre, à Waremme, le thermomètre à — 21° c., la feuillaison et la floraison sont plus avancées le 21 avril de cette année qu'en 1860, malgré trois semaines de bise qui ont précédé cette date. Voici les végétaux qui ont plus ou moins souffert de ce froid :

Taxodium sempervirens. Mort. — *Quercus lessoinnei.* Mort. — *Ilex aquifolium.* Gelé jusqu'au pied. *Vitis vinifera* (en espalier). Gelé jusqu'au pied. — La vigne d'Amérique en Ceps n'a pas souffert. — Quant à l'*Hedera helix*, le *Taxus baccata*, le *Cedrus libani* qui mourra probablement, le *Pinus maritima* qui mourra aussi probablement, le *Buxus sempervirens* et le *Rhododendrum puncticum*, leurs feuilles et branches ont été en partie gelées.

A cette liste il faut ajouter encore d'autres végétaux qui souffrent souvent d'un froid moindre : Ainsi, le *Daphne laureola*, l'*Aucuba japonica*, le *Prunus lauro-cerasus*, le *Jasminium officinale.* Divers *Castanea vesca* et *Prunus persica* ont eu des pousses gelées, et par contre les plantes suivantes ont résisté, quoiqu'elles aient péri à Waremme pendant des hivers moins rigoureux : *Ginkgo biloba*, *Paulownia imperialis*, *Cryptameria japonica.*

(Edm. de Selys-Longchamps.)

État de la végétation le 21 octobre 1861.

(Les chiffres 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1, indiquent la quantité des feuilles restant sur les arbres.)

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	WAREMME.	MELLE.	MUNSTER.	VIENNE.
Effeuillaison.									
Acer campestre.	—	3/4	—	—	—	—	1/2		
— negundo	—	—	—	—	—	3/4	—	1/4	1/4
— pseudo-platanus . . .	1/2	—	0	—	1	1/4	—	3/4	1/2
Æsculus hippocastanum. .	1/4	—	3/4	—	3/4	3/4	3/4	1/2	1/4
— pavia	—	—	—	—	—	—	3/4		
Alnus glutinosa.	—	1							
Amygdalus communis . . .	—	—	—	—	—	—	1/4		
— persica	1/2	—	1	3/4	1	1	3/4	1	1/2
Aristolochia sipho	—	—	0	—	1/8	3/4	1/4	1/2	3/4
Berberis vulgaris.	3/4	—	1	—	1	1	1/2	3/4	1/2
Betula alba	1/2	—	1/2	—	1/2	3/4	1/4	1/2	1/2
— alnus.	—	—	—	—	—	3/4	3/4	3/4	1/4
Bignonia catalpa.	—	1	3/4	—	1	1	3/4	3/4	1/2
— radicans	—	—	—	—	—	—	3/4		
Carpinus betulus.	—	1	1	—	3/4	1	3/4	1	1/2
Cercis siliquastrum.	—	—	1	—	—	1	1/2	1/4	3/4
Corchorus japonica.	—	—	—	—	—	—	3/4		
Cornus mascula.	1	—	1	—	—	1	1/2	1	1
— sanguinea	—	1	1/2	—	1	1	3/4	3/4	1/2
Corylus avellana	3/4	—	1/4	—	—	—	1/2	—	0
Cratægus oxyacantha . . .	3/4	1	1	3/4	3/4	1	3/4	3/4	1/4
Cytisus laburnum	1/2	—	3/4	—	3/4	3/4	3/4	3/4	1
Evonymus europæus. . . .	—	—	3/4	—	3/4	1	3/4	3/4	1/2
Fagus castanea.	—	—	1/2	—	3/4	3/4	—	3/4	
— sylvatica.	—	—	3/4	—	1/2	3/4	—	3/4	3/4
Ficus carica.	—	—	—	—	1	1	—	1	
Fraxinus excelsior	—	1	1	—	1	1	—	3/4	3/4
Gleditschia horrida.	—	—	—	—	—	—	3/4		
— triacanthos . .	—	—	—	—	—	1/8	—	1/8	
Glycine sinensis	1	—	1	—	1	1	3/4	1	
Ginkgo biloba	—	—	1	—	—	1	1	0	1
Hydrangea hortensis. . . .	—	—	1	—	—	1	1	1/2	1
Juglans regia.	3/4	3/4	1/2	—	—	1	1/2	1/4	1/2
Ligustrum vulgare.	—	—	1	—	1	1	3/4	1	3/4
Liriodendron tulipifera . .	—	1	—	—	—	3/4	1/2	1/4	
Larix europæa	—	—	1	—	3/4	1	—	1	1
Lonicera xylosteum	—	—	1/4	—	—	1	—	1/2	0
— symphoricarpos.	—	—	—	—	—	—	3/4		
Magnolia tripetala.	—	—	—	—	—	1	—	1/2	
— yulan.	—	1							

NOMS DES PLANTES.	BRUXELLES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	WAREMME.	MELLE.	MUNSTER.	VIENNE.
Effeuillaison (*suite*).									
Mespilus germanica	—	—	—	—	—	—	3/4		
Morus alba	3/4	—	1	—	—	1	3/4	1/4	1/2
Paulownia imperialis . . .	—	—	1/4	—	—	1	—	1/2	3/4
Platanus occidentalis. . . .	—	—	1/2	—	—	—	—	—	1/2
Philadelphus coronarius. .	3/4	1/2	1/2	—	3/4	1	3/4	3/4	1/2
Populus alba	—	3/4	1/2	—	1	1/2	1/4	1/2	1/2
— balsamifera	—	—	—	—	—	—	0		
— virginica	—	—	1/2	—	—	1/4	—	1/4	
Prunus cerasus.	1/2	—	1/2	—	3/4	1	1/2	3/4	3/4
— domestica	—	—	—	—	1	1	—	1/2	1/1
— armeniaca	—	1	—	1/2	1	1	3/4	1	
— padus.	—	0	1/2	—	1/4	1/4	—	0	0
Pyrus communis	3/4	3/4	1	—	1/2	1	1/2	1/2	1/2
— japonica.	—	—	1/4	—	—	1	1	1	0
— malus	1/2	—	3/4	—	3/4	1	1/2	1/2	
Quercus robur	3/4	—	1	—	1	1	—	1	
Rhus coriaria.	—	—	—	—	—	—	3/4		
— cotinus	—	—	—	—	—	—	3/4		
Ribes alpinum	—	—	0	—	3/4	1	—	3/4	0
— grossularia.	1/4	—	0	—	1/4	1/2	—	1/4	1/1
— rubrum.	1/4	—	0	—	0	1/2	1/4	0	
— nigrum.	—	—	0	—	3/4	3/4	3/4	0	
— sanguineum	—	—	0	—	1/2	1/2	—	3/4	
Rosa gallica.	—	—	3/4	—	—	3/4	—	1/2	1/2
Robinia pseudo-acacia. . .	1/2	1	1/2	—	1	1	—	1/2	1/2
Rubus idæus	1/2	—	1/4	—	1	—	—	1/2	1/2
Sambucus nigra	1/2	1	1	—	3/4	1/2	1/2	1	
Salix babylonica	1/2	—	3/4	—	1	1	3/4	1	3/4
Sorbus aucuparia.	3/4	—	1/2	—	3/4	0	1/4	3/4	
Staphylea pinnata	—	—	0	—	1/4	1	—	1/2	0
Syringa vulgaris.	1/4	1	3/4	—	3/4	3/4	3/4	1/2	1/4
Tilia europæa.	0	—	3/4	—	1/4	1	1/2	1/2	3/4
Ulmus campestris.	1/4	3/4	1	—	1	1	3/4	1/2	3/4
Vitis vinifera	3/4	1	1/4	—	3/4	1	3/4	3/4	1
Viburnum lantana	—	—	—	—	1				
— opulus.	—	—	1	—	3/4	3/4	3/4	1/4	1
— oxycoccos	—	—	—	—	—	—	—	1/4	
Floraison.									
Aster.	—	—	Générale.	—	—	Générale.	Terminée.		
Dahlia.	—	—	Id.	—	—	—	Avancée.	—	Fleurs gelées.
Hedera helix	—	—	Presque finie.	—	—	Commence.			
Helianthus tuberosus . . .	—	—	La tige a péri sans floraison.	—	—	Id.	Terminée.		

OBSERVATIONS PARTICULIÈRES.

—

Waremme. — Les oiseaux d'hiver *Parus ater, Fringilla montifringilla, Corvus cornix, Grus* (passage), sont arrivés au 21 octobre. L'effeuillaison, cette année, s'est faite très-tardivement, mais moins tard cependant qu'en 1858. La première gelée blanche bien caractérisée a eu lieu le 21 octobre. Ce n'est que ce jour-là que les feuilles des Balsamines, des Paulownia, des Dahlias et des Capucines ont été atteintes.

(Edm. de Selys-Longchamps.)

Melle. — Divers oiseaux d'hiver sont arrivés au 21 octobre. — Les Hirondelles (*H. rustica*) sont parties le 28 septembre, *toutes en une seule fois;* après cette date, on n'en a plus vu une seule.

(Bernardin.)

Anvers. — Par suite des rigueurs de l'hiver 1860-1861, beaucoup d'arbres et d'arbustes ont considérablement souffert, à tel point, qu'une partie importante de leurs branches s'est desséchée. Ce sont surtout : *Salix babylonica, Betula alba, Liriodendron tulipifera, Paulownia imperialis, Bignonia catalpa, Gleditschia inermis* et *triacanthos, Platanus occidentalis* et *orientalis, Guirlandina bonduc, Vitex Agnus-castus, Daphne pontica* et *Cercis siliquastrum.*

Les *Zizyphus volubilis* et *Ficus carica* qui se trouvent depuis vingt ans au Jardin, et que l'on couvrait habituellement au bas du tronc avec un léger paillasson, ont été gelés jusqu'à la racine : celle-ci a repoussé, mais faiblement.

L'*Urtica cannabina* qui compte quinze années d'existence, est mort totalement. Sont également perdus : *Nandina domestica, Ligustrum japonicum, Spartium junceum, Tamarix gallica, Ulex europœus* (fl. du pl.), *Genista tinctoria, Jasminum wallichianum* ainsi que plusieurs plantes herbacées vivaces.

Les plantes à feuilles persistantes ont été fortement endommagées; à la fin du printemps elles étaient dépourvues de ces organes. Une nouvelle feuillaison est arrivée plus tard; nous citerons, dans cette catégorie, les *Lauriers cerise* et *de*

Portugal, l'*Aucuba japonica*, le *Magnolia grandiflora*, l'*Yucca flaccida* et différentes espèces de Mahonia.

Les *Rhododendron*, *Azalea* et *Magnolia*, dont les feuilles et les branches ont été partiellement détruites, n'ont donné que très-peu et de très-faibles bouquets de fleurs.

Les *Juglans cinerea*, *Glabra* et *nigra* qui, l'année précédente, avaient produit des noix par milliers, n'en ont fourni aucune.

Nous avons remarqué en général, que les feuilles des arbres et arbustes n'étaient pas parvenus au développement ordinaire de leur grandeur naturelle; c'est ce qui a amené une influence défavorable sur la maturation des fruits (à pepins et à noyaux surtout) et, d'un autre côté, a favorisé la production d'un grand nombre de graines imparfaites.

Au 31 octobre, une seconde floraison a été observée : les plantes suivantes portaient un certain nombre de fleurs : *Archillea pubescens*, *Alchemilla vulgaris*, *Andromeda prolifolia*, *Arabis caucasica*, *Armeria alpina*, *Astrantia charinthiacha*, *Centaurea chrysolapha*, *Chelone obliqua*, *Corchorus japonicus* (à fleurs simples), *Gallardia bicolor*, *Geum rogli*, *Hesperis matronalis*, *Hyppericum calycinum*, *Melissa nepeta*, *Potentilla fragarioïdes* (au 15 décembre, il était encore couvert de fleurs), *Raphanus raphanistrum*, *Silene armeria*, *Tormentilla erecta*, *Vinca herbacea* et *Waldsteinia geoïdes*.

(Rigouts-Verbert.)

Vilvorde. — Le *Lamium purpurum*, le *Papaver rhœas*, le *Centaurea cyanus* et le *Spirœa ulmaria* étaient encore en fleurs au 21 octobre.

Voici, en outre, l'état des céréales pendant l'année 1861 :

Le colza était en fleur.	le 7 avril.	Le seigle était en fleur.	le 11 juin.
— coupé.	le 28 juin.	— coupé	le 28 juillet.
Le froment était en fleur	le 25 —	L'orge était en fleur.	le 17 juin.
— coupé.	le 3 août.	— coupé	le 10 juillet

(Alfred Wesmael.)

PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES NATURELS. — Règne végétal. — 1862.

NOMS DES PLANTES. (*Feuillaison*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.
Acer campestre. L.	30 mars.	—	1 mai.	—	—	8 avril.
» pseudo-platanus. L.	30 »	—	1 »	—	6 avril.	2 »
» saccharinum. L.	—	—	18 avril.			
Aesculus hippocastanum. L.	28 mars.	—	30 »	10 avril.	26 mars.	2 avril.
» lutea. Pers.	—	—	28 »	—	—	4 »
» pavia. L.	—	—	5 mai.	—	—	4 »
Amygdalus persica. L. (β *mad.*)	16 mars.	—	—	19 avril.	14 mars.	20 mars.
Aristolochia sipho. L.	—	—	5 mai.	—	5 avril.	4 avril.
» clematites. L.	—	—	19 avril.			
Betula alba. L.	—	5 avril.	21 »	16 avril.	31 mars.	2 avril.
» alnus. L.	—	—	—	3 »	—	6 »
Berberis vulgaris. L.	12 mars.	27 mars.	5 avril.	—	16 mars.	25 mars.
Bignonia catalpa. L.	25 avril.	—	15 mai.	1 avril.	1 mai.	
» radicans. L.	—	—	15 »	—	—	25 avril.
Buxus sempervirens. L.	—	—	1 »	—	—	2 »
Carpinus betulus. L.	—	—	—	—	31 mars.	26 mars.
Cercis siliquastrum. L.	—	—	26 mai.	—	—	20 avril.
Colutea arborescens. L.	—	—	—	—	—	15 mars.
Corchorus japonica. L.	10 mars.	21 mars	1 avril.	—	28 février.	15 février.
Cornus mascula. L.	—	—	20 »	—	—	1 avril.
» sanguinea. L.	—	—	—	—	—	1 »
Corylus avellana. L.	16 mars.	28 mars.	10 avril.	26 mars.	13 mars.	20 mars.
Cratægus coccinea. L.	—	—	—	—	15 »	
» oxyacantha L.	21 mars.	5 avril.	12 avril.	29 mars.	13 »	20 mars.
Cytisus laburnum. L.	20 »	28 mars.	15 »	—	27 »	25 »
Daphne mezereum. L.	16 »	—	18 »	18 mars.	—	20 février.
Evonymus europæus. L.	—	—	19 »	—	1 avril.	22 mars.
» latifolius. Mill.	—	—	—	—	—	22 »
» verrucosus. L.	—	—	27 avril.			
Fagus castanea. L.	—	—	2 mai.	—	12 avril.	26 avril.
» sylvatica. L.	—	27 avril.	4 »	—	27 »	20 »
Fraxinus excelsior. L.	24 avril.	29 »	8 »	—	3 mai.	25 »
» ornus L.	—	23 »	20 »			
Ginkgo biloba. L.	—	3 mai.	18 »	—	—	24 avril.

NOMS DES PLANTES. (*Feuillaison*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.
Gleditschia horrida. Willd	1 mai.					
Glycine sinensis. L.	21 avril.	—	10 mai.	—	29 avril.	20 avril.
Gymnocladus canadensis. Lam.	—	—	10 juin.	—	—	4 mai.
Hippophäe rhamnoïdes. L.	—	—	—	1 avril.	—	15 mars.
Hydrangea arborescens. L.	—	—	16 avril.	—	—	2 avril.
Juglans regia. L.	—	17 avril.	—	29 avril.	31 mars.	26 »
» nigra. L.	—	—	29 avril.	—	26 avril.	
Ligustrum vulgare. L.	—	—	20 »	—	—	16 mars.
Liriodendron tulipifera. L.	—	23 avril.	10 mai.	—	—	12 avril.
Lonicera periclymenum. L.	12 mars.	21 mars.	16 avril.	8 avril.	—	15 février.
» symphoricarpos. L.	13 »	—	6 »	—	13 mars.	12 mars.
» tatarica. L.	12 »	—	12 »	—	5 février.	15 février
» xylosteum. L.	11 »	—	16 »	—	—	24 mars.
» yulan. Desf.	—	3 mai.				
Mespilus germanica. L.	—	—	15 avril.	—	—	20 avril.
Morus alba. L.	—	—	—	—	—	2 »
» nigra. L.	25 mai.	—	—	1 mai.	1 mai.	4 mai.
Philadelphus coronarius. L.	13 mars.	21 mars.	10 avril.	—	25 février.	7 mars.
» latifolius. Schrad.	—	—	15 »			
Pinus larix. L.	—	—	21 »	—	25 mars.	24 mars.
Platanus occidentalis. L.	—	—	19 mai.			
Populus alba. L.	—	—	16 »			
» fastigiata. Poir.	—	—	5 »	—	1 avril.	1 avril.
» tremula. L.	—	29 avril.	—	—	—	20 »
Prunus armeniaca. L. (*β abric.*)	—	—	—	2 mars.	16 mars.	24 mars.
» cerasus. L. (*big. noir.*)	—	—	12 avril.	—	—	26 »
» domestica. L. (*β gr. dam. v.*)	—	—	—	—	29 mars.	24 »
» padus. L.	—	4 avril.	15 avril.	—	21 »	24 »
Ptelea trifoliata. L.	—	—	29 »	—	—	27 avril.
Pyrus communis. (*β bergam.*)	25 mars.	27 mars.	—	1 avril.	2 avril.	26 mars
» cydonia. L	—	—	—	18 mars.		
» japonica. L.	8 mars.	—	10 mai.	10 »	—	15 février.
» malus. L. (*β calville d'été*)	—	12 avril.	—	21 »	—	15 avril.
» spectabilis. Ait.	—	—	4 mai.	—	—	15 »
Quercus pedunculata. Wild.	—	—	—	—	—	20 »
» robur. L.	16 avril.	29 avril.				
» sessiliflora. Smith	—	—	—	—	—	20 avril.
Rhamnus catbarticus. L.	—	—	—	—	—	29 mars.
» frangula. L.	13 avril.	—	—	—	—	25 avril.
Rhus coriaria. L.	—	—	—	—	—	1 mai.
» cotinus. L.	—	—	—	—	28 avril.	28 avril.
Ribes alpinum. L.	9 mars.	—	18 avril.	—	25 février.	1 mars.

NOMS DES PLANTES. (*Feuillaison*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.
Ribes grossularia. L.	8 mars.	—	10 avril.	13 mars.	13 mars.	1 mars.
» nigrum. L.	12 »	—	16 »	—	13 »	12 »
» rubrum. L.	12 »	21 mars.	16 »	13 mars.	19 »	14 »
Robinia pseudo-acacia. L.	11 avril.	—	—	—	4 avril.	2 avril.
» viscosa. Vent.	20 »					
Rosa centifolia. L.	16 mars.	—	10 mai.	—	—	6 mars.
» gallica. L.	17 »	—	30 avril.	—	—	13 »
Rubus idæus. L.	13 »	—	15 mars.	10 mars.	—	10 »
Salix alba. L.	—	—	—	24 avril.		
» babylonica. L.	—	21 mars.	26 avril.	—	12 mars.	
Sambucus nigra. L.	8 mars.	21 »	—	12 avril.	28 février.	14 février.
» racemosa. L.	8 »	—	—	—	—	1 mars.
Sorbus aucuparia. L.	—	28 mars.	31 mars.	—	2 avril.	25 »
Spiræa bella. Sims.	—	—	29 avril.			
» hypericifolia. L.	—	—	6 »			
Staphylea pinnata. L.	16 mars.	—	5 mai.	—	21 mars.	25 mars.
Syringa persica. L.	12 »	—	1 »	—	16 »	7 »
» rothomagensis. Hort	12 »	—	—	—	10 »	7 »
» vulgaris. L.	10 »	21 mars.	23 avril.	12 avril.	7 »	7 »
Taxus baccata. L.	—	—	15 mai.	—	—	2 avril.
Tilia europæa. L.	20 mars.	28 mars.	28 avril.			
» parvifolia. Hoffm.	27 »	—	1 mai.	—	4 avril.	
» platyphylla. Vent.	—	—	—	—	—	25 mars.
Ulmus campestris. L.	—	28 mars.	28 avril.	—	—	2 avril.
Vaccinium myrtillus. L.	—	—	—	—	—	25 mars.
Viburnum lantana. L.	—	—	25 avril.	—	—	7 »
» opulus. L. (*fl. simpl.*)	10 mars.	27 mars.	29 »	—	—	14 »
» » L. (*fl. plen.*)	—	—	—	—	13 mars.	14 »
Vitex incisus. L.	—	—	—	—	—	4 mai.
Vitis vinifera. L.	24 avril.	—	18 mai.	5 avril.	6 avril.	15 avril.

NOMS DES PLANTES. (*Floraison* 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VIENNE.
Acanthus spinosus. L.	—	—	—	—	—	—	4 juin.
Acer campestre L.	—	—	—	—	—	25 avril.	14 avril.
» pseudo-platanus. L.	—	—	—	—	3 mai.	25 »	18 »
Achillea millefolium. L.	—	—	20 juin.	10 juillet	—	2 juin.	3 juin.
Aconitum napellus. L.	4 mai.	16 mai.	9 juillet.	5 »	—	6 mai.	3 »
Æsculus hippocastanum. L.	24 avril	5 mai.	12 mai.	8 mai.	26 avril.	29 avril.	10 avril.
» macrostachys. Mich.	—	—	25 juillet.	—	—	—	3 juillet.
» pavia. L.	—	3 mai.	19 mai.	—	—	2 mai.	21 avril.
Ajuga reptans. L.	—	—	—	—	—	15 avril.	10 »
Alisma plantago. L.	—	—	8 juillet.	28 juin	—	—	15 juillet.
Allium ursinum. L.	—	—	—	—	—	28 avril.	22 avril.
Alnus glutinosa. L.	—	20 février.	—	—	—	1 mars.	15 mars.
Althæa officinalis. L.	—	—	15 août.	—	—	15 juillet.	10 juillet.
Amygdalus communis. L.	—	20 mars.	1 avril.	—	—	—	2 avril.
» persica. L. (β. *madel.*).	16 mars.	—	29 mars.	3 avril.	9 mars.	16 mars.	1 »
Anchusa sempervirens L.	20 avril.	—	30 avril.	—	—	—	
Anemone hepatica. L.	10 mars.	—	8 mars.	24 janv.	—	22 février.	12 mars.
» nemorosa. L	—	17 mars.	3 avril.	—	—	14 mars.	27 »
Antirrhinum majus. L.	28 mai.	—	—	28 mai.	—	15 mai.	19 mai
Arabis caucasica. Willd.	12 mars.	—	4 mars.	—	—	16 mars.	
Aristolochia clematites. L.	—	—	30 mai.	—	—	—	24 avril
» sipho. L.	—	—	—	—	—	1 mai.	28 »
Arum maculatum. L.	—	27 avril.	8 avril.	—	—	15 avril.	
Asarum europæum. L	—	—	20 mars.	—	—	10 mars	19 mars.
Aselepias vincetoxicum. L.	—	—	7 juillet.	—	—	4 mai.	28 avril.
Asperula odorata. L.	—	—	20 avril.	—	19 avril.	12 avril	30 mars.
Astrantia major. L	—	—	29 mai.	—	—	6 mai.	
Atropa belladona. L.	—	—	19 juin.	2 juin	—	15 mai.	12 mai.
Azalea pontica. L.	21 avril.	1 mai.	26 avril.				
Bellis perennis. L.	10 mars	—	28 mars.	7 mars.	5 février.	18 février.	7 avril.
Berberis vulgaris. L.	25 avril.	24 avril.	15 mai.	—	29 avril.	29 avril.	24 »
Betula alba. L.	—	—	21 mars.	18 avril.	1 »	1 mai.	2 »
Bignonia catalpa. L.	—	—	22 juillet.	19 juin.	13 juillet.	—	13 juin.
» radicans. L	—	—	—	—	—	8 août.	
Borrago officinalis. L.	21 avril.						
Bryonia dioïca. Jacq.	—	—	—	—	24 mai.	24 mai.	22 mai.
Buphthalmum cordifolium. L.	5 juillet.	—	10 juin.				
Buxus sempervirens L.	25 mars.	—	29 mars.	—	14 mars.	24 mars.	1 avril.
Caltha palustris. L.	—	17 mars.					
Campanula persicifolia. L.	20 juin.	—	15 juin.	—	—	2 juin.	17 mai
Cardamine pratensis L.	—	28 mars.	—	17 mars.	—	24 mars.	
Carduus marianus. L.	—	—	14 juillet.				

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1862).	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VIENNE.
Carpinus betulus. L.	—	—	—	—	1 avril.		
Centaurea cyanus. L.	—	—	—	7 juin.	26 mai.	—	11 mai.
Cercis siliquastrum. L.	—	—	3 mai.	—	—	12 avril.	27 avril.
Cheiranthus Cheiri. L.	16 avril.	—	19 avril.	—	—	24 mars.	
Chelidonium majus. L.	—	—	2 mai.	—	10 avril.	6 avril.	11 avril.
Chrysanthemum leucantheumum. L.	—	—	4 juin.	—	28 »	20 »	8 mai.
Chrysocoma linosyris. L.	—	—	4 août.	—	—	5 août.	3 sept.
Colchicum autumnale. L.	22 août.	31 août.	30 sept.	17 sept.	—	1 sept.	30 août.
Colutea arborescens. L.	—	—	20 mai.	—	—	6 mai.	1 mai.
Convallaria bifolia. L.	—	—	—	—	—	25 avril.	21 avril.
» maïalis. L.	5 avril.	—	29 avril.	—	—	1 mai.	
Convolvulus arvensis. L.	—	—	—	—	—	22 »	10 mai.
» sepium. L.	13 juin.	—	—	—	—	8 juin.	27 »
Corchorus japonicus. L.	1 avril.	—	8 avril.	—	30 mars.	26 mars.	20 avril.
Cornus mascula. L.	5 mars.	14 mars.	10 mars.	—	—	17 février.	24 mars.
» sanguinea. L.	—	—	15 mai.	—	—	22 mai.	14 mai.
Corydalus digitata. L.	—	—	—	—	—	16 mars.	
Corylus avellana. L.	5 mars.	6 février.	6 février.	—	1 février.	14 février.	11 mars.
Cratægus coccinea. L.	2 mai.	—	8 mai.	—	29 avril.	1 mai.	
» oxyacantha. L.	21 avril.	7 mai.	1 »	27 mai.	24 »	8 avril.	28 avril.
Crocus mæsiacus. L.	—	—	—	—	—	19 février.	
» vernus. Sw.	5 février.	—	16 mars.	20 février	—	4 mars.	26 mars.
Cynoglossum omphalodes. L	—	—	—	—	—	16 »	20 avril.
Cytisus laburnum. L.	21 avril.	30 avril.	30 avril.	—	2 mai.	24 avril.	23 »
Daphne laureola. L.	—	—	5 »	—	—	15 février.	31 mars.
» mezereum. L.	13 mars.	25 fév.	1 mars.	3 avril.	—	10 janv.	5 février.
Delphinium Ajacis. L.	16 mai.	—	—	—	11 juin.		
Dianthus caryophyllus. L.	22 mai.	—	—	—	—	15 juin.	
Dictamnus albus. L.	—	—	—	—	—	2 mai.	24 mai.
Digitalis purpurea. L.	19 mai.	—	22 mai.	2 juin.	—	1 juin.	16 »
Echinops sphærocephalus. L.	—	—	28 juill.	—	—	—	4 juillet.
Epilobium spicatum. Lam.	—	—	9 juin.	—	—	20 mai.	
Equisetum arvense. L.	—	—	—	—	—	6 avril.	7 avril.
Erica vulgaris. L.	—	—	—	—	—	16 juillet.	25 juillet.
Eschscholzia californica. Chm.	6 juin.	—	22 mai.	—	—	1 juin.	3 juin.
Evonymus europæus. L.	—	—	—	—	26 avril.	26 avril.	3 mai.
Fragaria vesca. L. (β *Hortens.*).	24 avril.	5 avril.	10 mai.	26 avril.	20 »	27 mars	10 avril.
Fraxinus excelsior. L.	—	30 mars.	—	—	7 »	6 avril.	1 »
Fritillaria imperialis. L.	—	—	2 avril.	17 avril.	—	—	9 »
Fumaria officinalis. L.	—	—	—	1 »			
Galanthus nivalis. L.	5 février.	25 fév.	21 fév.	17 février.	—	18 février.	4 mars.
Gentiana cruciata. L.	—	—	10 juin.				

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1861.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VIENNE.
Geranium pratense. L.	—	—	26 mai.	—	—	18 mai.	
» sanguineum. L.	—	—	—	—	—	25 avril.	
Gladiolus communis. L.	12 juin.	—	—	—	—	—	6 juin.
Glechoma hederacea. L.	—	—	—	—	26 mars.	26 mars.	3 avril.
Glycine sinensis. L.	24 avril.	—	21 mai.	—	—	24 avril.	
Hedysarum onobrychis. L.	—	—	—	—	—	12 mai.	
Helleborus fœtidus. L.	—	—	26 mars.	—	19 févr.	20 fév.	
» hiemalis. L	5 févr.	—	24 févr.	2 février.	—	17 »	
» niger. L.	—	—	4 janv.	—	—	14 »	6 fév.
» viridis. L.	—	—	16 mars.	—	—	18 »	
Hemerocallis cœrulea. Andr.	20 juillet.	—	8 juillet.	—	—	10 juillet.	
» flava. L.	20 mai.	—	10 juin.	—	16 mai.	20 mai.	25 mai.
» fulva. L.	—	—	6 juillet.	—	5 juin.	6 juin.	11 juin.
Hibiscus syriacus. L.	—	—	22 août.	—	—	20 juillet	
Hieracium aurantiacum. L.	—	—	—	—	—	1 juin.	
Hyacinthus orientalis. L.	16 mars.	—	3 avril.	13 mars.	29 mars.	16 mars.	4 avril.
Hydrangea hortensis. Sm.	1 juillet.	—	15 août.				
Hypericum perforatum. L.	26 juin.	—	20 juin.	—	—	10 juin.	9 juin.
Iberis sempervirens. L.	—	—	22 avril.	—	—	25 mars.	14 avril.
Ilex aquifolium. L.	—	—	27 »	—	—	20 avril.	
Iris ziphium. L.	18 mai.						
» germanica. L.	28 avril.	—	2 mai.	4 mai.	24 mai.	1 mai.	1 mai.
Iris pseudo-acorus. L.	4 mai.	16 mai.					
Iris pumila. L.	8 avril.	—	28 avril.	—	—	12 avril.	9 avril.
Juglans regia. L.	—	—	—	2 juin.	—	—	24 »
Kalmia latifolia. L.	—	—	25 mai.				
Lamium album. L.	—	—	20 avril.	18 avril.	28 mars.	6 avril.	
Larix europæa L.	—	28 mars.					
Leontodon taraxacum. L.	25 mars.	—	10 »	15 »	14 »	18 février	7 avril.
Ligustrum vulgare. L.	—	2 juin.	8 juillet.	—	—	25 mai.	24 mai.
Lilium candidum. L.	24 juin.	—	15 juin.	—	—	14 juin.	9 juin.
» croceum. L.	—	16 juin.					
» flavum. L.	—	—	15 juin.	—	—	4 juin.	
Linaria vulgaris. L.	—	15 juin.					
Linum perenne. L.	—	—	—	—	—	26 avril.	
Liriodendron tulipifera. L.	—	—	20 juin.				
Lonicera periclymenum. L.	10 mai.	—	—	3 mai.	28 avril.	22 mai.	25 mai.
» symphoricarpos. L.	—	—	—	—	15 mai.	10 »	
» tatarica. L.	—	—	—	—	7 avril.	1 avril.	25 avril.
» xylosteum. L.	—	—	—	—	—	25 »	25 »
Lychnis chalcedonica L.	—	—	15 juin.	—	—	10 juin.	
Lysimachia nemorum. L.	—	—	1 mai.	—	—	1 mai.	

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VIENNE.
Lythrum salicaria. L.	—	—	12 juin.	—	—	8 juin.	7 juin.
Magnolia grandiflora. L.	25 mars.						
» tripetala. L.	8 mai.	—	20 mai.				
» yulan. L.	25 mars.	27 mars.	16 mars.	—	—	2 avril.	
Malva sylvestris. L.	30 mai.	—	20 juin.	29 juin.	—	25 mai.	
Melissa officinalis. L.	—	—	2 août.	—	—	12 juillet.	6 juillet.
Mentha piperita. L.	—	—	20 »	—	—	8 »	12 »
Mespilus germanica. L.	—	18 mai.	—	—	—	4 mai.	4 mai.
Mitella grandiflora Pursch.	—	—	26 avril.				
Morus nigra. L.	—	—	17 juin.	—	6 mai.		
Muscari botryoides. L.	15 mars.	29 mars.	—	—	15 mars.	19 mars.	
Myosotis palustris. L.	24 avril.	5 mai.					
Narcissus pseudo-narcissus. L. . . .	14 mars.	28 mars.	1 avril.	—	—	12 mars.	21 avril?
» jonquilla. L.	28 avril.	—	—	—	25 mars.		
» poëticus. L.	24 »	—	—	—	22 avril.	26 avril.	11 avril.
Nymphea alba. L.	—	16 mai.	—	—	—	—	14 mai.
Ornithogalum umbellatum. L. . . .	7 mai.	29 avril.	26 avril.	—	—	1 mai.	20 avril.
Orobus vernus. L.	—	—	30 mars.	13 mars.	—	—	8 »
Oxalis acetosella. L.	—	—	—	—	—	4 avril.	2 »
» stricta L.	—	—	—	—	24 mai.	25 mai.	
Pachysandra procumbens. L.	26 mars.	—	—	—	—	—	—
Papaver bracteatum. L.	—	—	20 mai.				
» orientale. L.	12 juin.	—	3 juin.	—	13 juin.	27 mai.	18 mai.
» rhœas. L.	—	—	—	—	4 »	24 »	
Paris quadrifolia. L.	—	—	—	—	—	8 avril.	
Philadelphus coronarius. L.	10 mai.	14 mai.	20 mai.	—	6 mai.	6 mai.	16 mai.
Physalis Alkekenge. L.	—	—	23 »	—	—	8 »	
Plantago major. L.	—	—	20 »				
Platanus occidentalis. L.	—	—	—	—	—	—	24 avril.
Pœonia officinalis. L.	1 mai.	—	8 mai.	—	1 mai.	—	6 mai.
Polemonium cœruleum. L.	—	—	9 juin.	—	—	26 avril.	
Polygonum bistorta. L.	—	—	2 mai.	—	—	2 mai.	5 mai.
Populus alba. L.	—	24 mars.	—	—	—	—	27 mars.
» balsamifera. L.	26 mars.						
» canadensis. L.	—	5 avril.					
» fastigiata. Poir.	26 mars.	—	21 mars.	—	10 mars.	18 mars.	
Primula elatior. L.	16 »	17 mars.	—	—	—	10 fév.	
» officinalis. L.	—	—	—	—	—	10 mars.	
» veris. L.	16 mars.	—	10 mars.	12 fév.	—	—	4 avril.
Prunus armeniaca (β *abric.*)	—	—	—	17 avril.	9 mars.	10 mars.	30 mars.
» cerasus. (β *bigarr. n.*). . . .	26 mars.	—	1 avril.	—	—	1 avril.	6 avril.
» domestica (β *gr. dam. v.*) . .	28 »	3 avril.	4 »	—	—	29 mars.	4 »

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VIENNE.
Prunus padus. L.	—	—	27 avril.	—	—	20 avril.	7 avril.
» spinosa. L.	—	5 avril.	—	—	—	29 mars.	3 avril.
Ptelea trifoliata. L.	—	—	17 juin.				
Pulmonaria officinalis. L.	—	27 mars.	3 avril.	21 mars.	—	7 mars.	27 mars.
» virginica. L.	—	—	20 mai.				
Pyrus communis (β *berg.*)	26 mars.	22 avril.	27 mars.	3 avril.	3 avril.	1 avril.	5 avril.
» cydonia. L	—	—	1 mai.	—	—	—	25 »
» japonica. L.	25 mars.	—	28 mars.	26 mars.	—	18 mars.	4 »
» malus L. (β *calv. d'été.*)	2 avril.	12 avril.	15 avril.	—	—	16 avril	
» spectabilis. Ait	5 »	—	30 »	—	—	10 »	
Quercus sessiliflora. Smith.	—	—	—	—	—	—	29 avril.
» robur. L.	—	29 avril.					
Ranunculus aquatilis. L.	—	—	—	3 avril.			
» acris. L. (*fl. plen.*)	26 avril.	5 mai.	—	8 mai.	—	2 mai.	28 avril.
» ficaria. L.	—	—	30 mars.	3 avril.	7 mars.	15 mars.	1 »
Rhamnus frangula. L.	—	—	—	—	—	10 mai.	1 mai.
Rheum undulatum. L.	16 avril.	—	30 avril.	—	—	20 »	27 avril.
Rhododendron ponticum. L.	5 mai.	1 mai.	15 mai.	—	—	10 »	28 »
Rhus coriaria. L.	—	—	—	—	—	4 juin.	
Ribes alpinum. L.	—	—	3 avril.	—	27 mars.	20 mars.	
» aureum. L.	—	28 mars.					
» grossularia. L. (*Fr. virid.*).	23 mars.	28 »	1 avril.	3 avril	29 mars.	28 mars.	30 mars.
» nigrum. L.	22 »	—	3 »	—	4 avril.		
» rubrum. L.	26 »	—	1 »	8 avril.	27 mars.	1 avril.	10 avril.
» sanguineum. L.	13 »	20 mars.					
» uva-crispa. L.	—	28 »					
Robinia pseudo-acacia. L.	11 mai.	25 mai.	—	—	—	20 mai.	5 mai.
» viscosa. L.	—	—	—	—	—	—	12 »
Rosa centifolia. L	22 »	—	8 juin.	18 mai.	—	1 juin.	25 »
» gallica. L.	6 juin.	—	10 »	12 juin.	—	1 »	10 juin.
Rubus idæus. L.	—	—	—	—	18 mai.	—	6 mai.
» fruticosus. L.	—	7 mai.					
Ruta graveolens. L.	—	—	20 juin.	—	—	2 juin.	22 mai.
Salix alba. L.	—	—	—	28 avril.			
» capræa. L.	—	14 mars.	21 avril.	—	—	2 mars.	25 mars.
Salvia officinalis. L.	—	—	14 juillet.	—	—	24 mai.	19 mai.
Sambucus nigra. L.	9 mai.	12 mai.	18 mai.	—	2 mai.	20 »	6 »
» racemosa. L.	29 mars.	—	25 avril.	—	—	1 avril.	
Satureia montana. L.	—	—	—	—	—	20 juill.	
Saxifraga crassifolia. L.	30 mars.	—	10 mai.	—	—	22 mars.	8 avril.
» umbrosa. L.	25 avril.						
Scabiosa arvensis. L.	—	—	15 juin.	—	—	10 juin.	15 mai.

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VIENNE.
Scabiosa succisa. L.	—	—	13 juin.	—	—	12 août.	4 août.
Scrophularia nodosa. L.	—	—	8 juillet.	—	—	10 mai.	23 mai.
Secale cereale. L. (β *hyb.*).	—	—	—	—	—	10 »	12 »
Sedum acre. L.	—	—	10 juin.	—	29 mai.	20 mai.	29 »
» album. L.	—	—	20 »	—	—	10 juin.	
» telephium. L.	—	—	8 août.	—	—	2 août.	7 août.
Solanum dulcamara. L.	—	—	19 juin.				
Sorbus aucuparia. L.	27 avril.	29 avril.	30 avril.	—	—	1 mai.	23 avril.
Spartium scoparium. L.	—	—	—	—	—	20 avril.	
Spiræa bella. Sims.	—	—	17 juin.				
» filipendula. L.	—	—	20 »	—	—	10 juin.	13 mai.
» hypericifolia. L.	—	—	2 mai.				
» lævigata. L.	23 avril.						
Staphylea pinnata. L.	25 »	—	21 avril.	—	6 avril.	10 avril.	21 avril.
Statice armeria. L.	—	—	12 mai.	—	—	18 »	9 mai.
» limonium. L.	—	—	19 juill.				
Stellaria holostea. L.	25 avril.						
Symphitum officinale. L.	25 »	29 avril.	27 juin.	—	—	20 avril.	30 avril.
Syringa persica. L.	12 »	—	25 avril.	—	26 avril.	10 »	27 »
» vulgaris. L.	10 »	23 avril.	20 »	29 avril.	9 »	8 »	12 »
Taxus baccata. L.	—	—	21 mars.	—	—	—	26 mars.
Thymus serpillum. L.	—	—	—	—	—	10 juill.	2 mai.
» vulgaris. L.	—	—	—	—	—	—	29 »
Tiarella cordifolia. L.	—	—	29 mai.	—	—	4 avril.	
Tilia microphylla. Vent.	—	—	—	—	19 juin.		
» europæa. L.	28 mai.	12 juin.	20 juin.				
» parvifolia. L.	—	—	—	—	—	—	4 juin.
» platyphylla. Vent.	—	—	—	—	—	4 juin.	
Tradescantia virginica. L.	20 mai.	—	28 mai.	—	—	10 mai.	
Trifolium pratense. L	—	—	—	—	—	10 »	30 avril.
Triticum sativum. L. (β *hybern.*).	—	—	—	—	—	*Épi.* 25 mai. *Flor.* 4 juin.	5 juin.
Trollius europæus. D.	29 avril.	—	5 mai.	—	—	8 avril.	
Tulipa gesneriana. L.	12 »	—	10 »	—	20 avril.	24 »	24 avril.
Tussilago fragrans. L.	—	—	15 mars.	12 juin.			
» farfara. L.	—	17 mars.					
» petasites. L.	26 mars.	20 »					
Ulmus campestris. L.	—	—	—	—	15 mars.	20 mars.	24 mars.
Vaccinium myrtillus. L.	—	7 avril.	—	—	—	1 mai.	
Valeriana rubra. L.	—	—	2 juin.	—	—	26 avril.	13 mai.
Veratrum nigrum. L.	—	—	4 »				
Veronica gentianoïdes. L.	—	—	20 avril.	—	—	1 mai.	
» spicata. L.	—	—	20 juin.	—	—	6 »	9 juin.

NOMS DES PLANTES. (*Floraison*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	JEMEPPE.	NAMUR.	VIENNE.
Veronica tenerium. L.	21 avril.						
Viburnum lantana. L.	—	—	3 mai.	—	19 avril.	14 avril.	19 avril.
» opulus. L. (*fl. simple.*) . . .	29 avril.	7 mai.	3 »	—	25 »	1 mai.	15 mai.
Viburnum opulus. L. (*fl. plein.*) . . .	29 »	—	—	—	—	1 »	
Vinca minor. L.	12 mars.	—	18 mars.	—	19 mars.	1 avril.	19 avril.
» major. L.	—	12 janv.					
Viola odorata. L.	8 mars.	—	10 mars.	5 mars.	—	10 janv.	25 mars.
Vitis vinifera. L. (*β chass. doré*) . . .	6 juin.	10 juin.	1 juin	—	—	20 mai.	20 mai.
Waldsteinia geoïdes. Kit.	28 mars.	—	25 mars.	—	—	20 mars.	1 avril.

NOMS DES PLANTES. (*Fructification*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	VIENNE.
Acanthus spinosus. L.	—	—	—	14 août.
Acer pseudo-platanus. L.	—	19 août.	—	13 sept.
» campestre. L.	—	—	—	30 août.
Achillea millefolium. L.	—	16 août.	—	30 juill.
Aconitum napellus. L.	—	13 »	—	17 »
Æsculus hippocastanum. L.	—	22 oct.	26 sept.	31 août.
» pavia. L.	—	—	—	1 oct.
Ajuga reptans. L.	—	13 juin.		
Alcea rosea. L.	—	10 août.		
Alisma plantago. L.	—	—	—	13 août.
Antirrhinum majus. L.	—	30 juin.		
Aristolochia clematites. L.	—	—	—	22 août.
Astrantia major. L.	—	27 juill.		
Berberis vulgaris. L.	—	4 août.	—	14 juill.
Betula alba. L.	—	—	2 juin.	
» alnus. L.	—	—	29 mai.	
Bryonia dioica. L.	—	—	—	14 juill.
Centaurea cyanus. L.	—	—	—	15 juin.
Chelidonium majus. L.	—	8 juin.	—	29 mai.
Chrysanthemum leucanthemum. L.	—	—	—	13 juin.
Convallaria maialis. L.	—	29 juill.		
Convolvulus sepium. L.	—	—	—	15 juill.

NOMS DES PLANTES. (*Fructification*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	VIENNE.
Colchicum autumnale. L.	—	—	—	6 juin.
Cornus mascula. L.	—	15 août.	—	14 août.
» sanguinea. L.	—	—	—	2 »
Corylus avellana. L.	—	6 août.	16 août.	
Cratægus oxyacantha. L.	—	10 sept.	9 »	8 août.
Citysus laburnum. L.	—	8 »		17 juill.
Daphne mezereum. L.	—	8 juill.	29 juin.	16 mai.
Dictamnus albus. L.	—	—	—	17 juill.
Digitalis purpurea. L.	—	16 juill.		
Fagus sylvatica. L.	—	8 octob.		
Fragaria vesca. L. (β *Hortens.*).	24 mai.	—	—	6 juin.
Hypericum perforatum. L.	—	19 août.	—	19 août.
Juglans regia. L.	—	27 sept.	20 août.	2 sept.
Leontodon taraxacum. L.	—	—	—	19 avril.
Ligustrum vulgare. L.	—	18 sept.	—	19 août.
Lonicera tatarica. L.	—	—	—	15 juin.
» xylosteum. L.	—	—	—	13 »
Malva sylvestris. L.	—	18 juill.		
Melissa officinalis. L.	—	—	—	8 août.
Morus nigra. L.	—	27 août.		
Orobus vernus. L.	—	10 juill.		
Papaver orientale. L.	—	6 »		
Philadelphus coronarius. L.	—	4 sept.		
Physalis alkekenge. L.	—	—	—	22 août.
Prunus armeniaca. L.	—	—	—	14 juillet.
» cerasus. L. (β *bigarr. n.*).	26 mai.	—	—	5 juin.
» padus. L.	—	—	—	3 »
Pyrus communis. L. (β *berg.*).	—	—	18 août.	
» cydonia. L.	—	—	—	9 sept.
Rhamnus frangula. L.	—	—	—	29 juin.
Rheum undulatum. L.	10 juin.	—	—	1 »
Ribes grossularia. L.	—	28 juin.	8 juin.	
» nigrum. L.	—	1 juillet.		
» rubrum. L.	—	8 »	1 juillet.	
Robinia viscosa. L.	—	—	—	17 sept.
Rubus idæus. L.	—	15 août.	9 juillet.	9 juin.
Salix capraea. L.	—	—	—	22 avril.
Salvia officinalis. L.	—	9 juillet.	—	21 juin.
Sambucus nigra. L.	—	1 sept.	—	14 juillet.
Scabiosa succisa. L.	—	—	—	2 sept.
Secale cereale. L.	—	—	—	19 juin.
Sedum telephium. L.	—	—	—	15 sept.

NOMS DES PLANTES. (*Fructification*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	VIENNE.
Sorbus aucuparia. L.	—	16 sept.	—	21 juillet.
Spiraea filipendula. L.	—	—	—	14 »
Staphylea pinnata. L.	—	30 sept.	—	15 »
Syringa vulgaris. L.	—	15 »	—	19 août.
Taxus baccata. L.	—	—	—	22 »
Ulmus campestris. L.	—	—	—	27 avril.
Viburnum lantana. L.	—	—	—	19 juillet.
Viburnum opulus. L. (*fl. simp.*).	—	—	—	20 »
Viola odorata. L.	—	5 juin.		
Vitis vinifera. L. (*Chasselas doré.*)	—	30 sept.	4 août.	30 août.

NOMS DES PLANTES. (*Chûte des feuilles*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	NAMUR.
Acer campestre. L.	—	20 nov.	—	15 nov.
» pseudo-platanus. L.	—	22 oct.	—	1 »
Aesculus hippocastanum. L	—	10 nov.	18 nov.	27 oct.
» lutea. Pers.	—	—	—	1 »
» pavia. L.	—	—	—	27 »
Amygdalus communis L.	—	20 nov.		
» persica. L. (β *mad.*)	—	26 »	28 sept.	19 nov.
Aristolochia sipho. L.	—	—	—	2 oct.
Betula alba. L.	—	15 nov.	19 oct.	19 nov.
Berberis vulgaris. L.	—	26 »	—	15 »
Bignonia catalpa. L.	—	20 »	15 sept.	
» radicans. L.	—	—	—	1 nov.
Carpinus betulus. L.	—	8 nov.	—	14 »
Cercis siliquastrum. L.	—	—	—	19 »
Colutea arborescens. L.	—	—	—	7 »
Corchorus japonicus L.	—	—	—	19 »
Cornus mascula L.	—	27 nov.	—	14 »
» sanguinea. L.	—	—	—	14 »
Corylus avellana. L.	—	10 nov.	7 oct.	1 »
Cratægus oxyacantha. L.	—	31 oct.	17 »	16 »
Cytisus laburnum. L.	—	10 nov.	—	16 »
Daphne mezereum. L.	—	—	—	2 »

NOMS DES PLANTES. (*Chûte des feuilles*, 1862).	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	OSTENDE.	NAMUR.
Evonymus europæus. L.	—	16 nov.	—	19 »
» latifolius. Mill.	—	—	—	19 »
Fagus castanea. L.	—	—	—	6 »
» sylvatica. L	—	30 nov.	—	15 »
Fraxinus excelsior. L.	—	27 »	—	20 »
Ginkgo biloba L.	—	—	—	1 »
Glycine sinensis. L.	—	8 déc.	—	20 »
Gymnocladus canadensis. Lam.	—	—	—	16 oct.
Hippophäe rhamnoïdes. L.	—	—	—	19 nov.
Hydrangea arborescens. L	—	—	—	4 »
Juglans regia. L.	—	8 oct.	29 sept.	5 »
Ligustrum vulgare. L.	—	—	—	20 »
Liriodendron tulipifera. L.		15 nov.		
Lonicera periclymenum. L.	—	10 »	—	4 nov.
» symphoricarpos. L.	—	20 »	—	15 »
» tatarica. L.	—	—	—	10 oct.
» xylosteum. L.	—	—	—	18 nov.
Mespilus germanica. L.	—	—	—	19 »
Morus alba. L.	—	—	—	20 »
» nigra. L.	—	28 nov.	—	20 »
Philadelphus coronarius. L.	—	5 »	—	10 »
Pinus larix. L.	—	—	—	10 »
Platanus occidentalis. L.	—	28 oct.	—	8 »
Populus alba. L.	—	21 nov.		
» fastigiata. Poir.	—	21 »	—	2 nov.
» tremula. L.	—	—	—	4 »
Prunus armeniaca. L. (*β abric.*).	—	—	—	20 »
» cerasus. L. (*big. noir.*)	—	10 nov.	—	6 »
» domestica. L. (*β gr. dam. v.*).	—	—	—	5 »
» padus. L.	—	25 oct.	—	2 »
Ptelea trifoliata. L.	—	—	—	6 »
Pyrus communis. (*β bergam.*)	—	10 nov.	4 oct.	7 »
» japonica. L.	—	10 »	—	3 »
» malus. L. (*β calville d'été*).	—	3 »	—	4 »
Quercus pedunculata. Wild.	—	—	—	16 »
» sessiliflora. L.	—	—	—	16 »
Rhamnus catharticus. L.	—	—	—	8 »
» frangula. L.	—	—	—	8 »
Rhus typhina. L.	—	10 oct.		
Ribes alpinum. L.	—	—	—	16 nov.
» grossularia. L.	—	5 nov.	—	16 »
» nigrum. L.	—	5 »	—	16 »

NOMS DES PLANTES. (*Chûte des feuilles*, 1862.)	BRUXELLES. — Observat.	ANVERS.	NAMUR.	OSTENDE.
Ribes rubrum. L.	—	5 nov.	—	10 nov.
Robinia pseudo-acacia. L.	—	28 oct.	—	19 »
Rosa centifolia. L.	—	3 déc.	—	15 »
» gallica. L.	—	—	—	15 »
Rubus idæus. L.	—	22 nov.		
Salix alba. L.	—	5 »	—	4 nov.
Sambucus nigra. L.	—	20 »	—	2 »
» racemosa. L.	—	—	—	2 »
Sorbus aucuparia L.	—	28 nov.	—	3 »
Spiræa hypericifolia. L.	—	20 »		
Staphilea pinnata. L.	—	20 oct.	—	7 nov.
Syringa persica. L.	—	20 nov.	—	1 »
» rothomagensis. L.	—	—	—	1 »
» vulgaris. L.	—	12 nov.	—	1 »
Tilia parvifolia. Hoffm	—	30 »		
» platyphylla. Vent.	—	—	—	1 nov.
Ulmus campestris. L.	—	22 nov.	—	8 »
Vaccinium myrtillus. L.	—	—	—	6 »
Viburnum lantana. L.	—	—	—	20 »
» opulus. L. (*fl. simple*)	—	28 nov.	—	18 »
Vitex incisa. L.	—	—	—	22 oct.
Vitis vinifera. L. (*β chass. doré.*)	—	7 nov.	19 sept.	3 nov.

PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES NATURELS.

RÈGNE ANIMAL.

Observations faites dans les environs de Bruxelles, pendant l'année 1862,
par MM. J.-B. Vincent et fils.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Fevrier
7. *Parus caudatus.* Repasse.
9 *Parus cœruleus.* Repasse.
19. *Fringilla cœlebs.* Chante.
21. *Turdus viscivorus.* Repasse.
22. *Turdus musicus.* Repasse.
22. *Corvus cornix.* Repasse
26. *Ciconia alba.* Repasse.

Mars
1. *Charadrius pluvialis.* Repasse.
1. *Vanellus cristatus.* Repasse.
3. *Motacilla alba.* Arrivée.
3. *Ciconia alba.* Repasse.
3. *Fringilla coccothraustes.* Revient.
14. *Ruticilla tithys.* Arrivé.
15 (vers le soir). *Turdus musicus.* Repasse.
17. *Phyllopneuste rufa.* Arrive.
20. *Turdus torquatus.* Repasse.
20. *Emberiza schœniclus.* Revient.
24. *Totanus calidris.* Repasse.
27. *Hirundo riparia.* Arrivé.
29. *Saxicola rubetra.* Arrivé.
30. *Anthus arboreus.* Arrivé.

Avril
4. *Motacilla flava.* Arrive.
5. *Saxicola œnanthe.* Repasse.
6. *Hirundo rustica.* Arrivé.
8. *Sylvia curruca.* Arrivé.
9. *Ruticilla luscinia.* Arrivé.
10. *Sylvia atricapilla.* Arrivé.
21. *Oriolus galbula.* Arrivé.
21. *Cuculus canorus.* Arrivé.
22. *Cypselus apus.* Arrivé.
23. *Emberiza hortulana.* Arrivé.
24. *Totanus hypoleucos.* Repasse.
26. *Muscicapa grisola.* Arrivé.
27. *Sylvia hortensis.* Arrivé.
28. *Sylvia cinerea.* Arrive.
28. *Totanus ochropus.* Repasse.
29. *Muscicapa ficedula.* Revient.

Mai
2. *Hypolaïs icterina.* Arrive.
6. *Calamoherpe arundinacea.* Arrive.
7. *Calamoherpe turdoïdes.* Arrive.
12. *Calamoherpe palustris.* Arrive.

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Juillet	15. *Totanus hypoleucos* Passe.	*Octobre*	1. *Anthus pratensis.* Émigre.
	28. *Cypselus apus.* Départ.		1. *Alanda arvensis* Émigre.
Août	10. *Saxicola œnanthe.* Repasse.		1. *Fringilla cœlebs.* Émigre.
	16. *Regulus ignicapillus.* Repasse.		5. *Alauda arborea.* Émigre.
	20 au 24 (nuits des). *Numenius arquata.* Repasse.		5. *Emberiza schœniclus.* Emigre.
			14. *Corvus cornix.* Arrive.
	16. *Anthus arboreus.* Émigre.		14. *Sturnus vulgaris.* Émigre.
	24. *Moticilla flava.* Émigre.		22. *Corcus cornix* Passe.
Septembre	4. *Totanus ochropus.* Passe.		26. *Fringilla spinus.* Émigre.
	4. *Totanus hypoleucos.* Passe encore.	*Novembre*	3. *Anser segetum* Passe en grand nombre
	20 au 21 (nuit du) *Turdus musicus.* Passe		11. *Buteo communis.* Passe.
	24. *Motacilla boarula.* Arrive.		11. *Astur nisus.* Passe.

Février 19. *Vespertilio pipistrellus.* Vole.
Janvier 6. Id. id. Réveil.

Mars 15. *Rana temporaria.* Réveil.

INSECTES.

Mars	13. *Colias rhamni.* Vole.	*Avril*	22. *Melolontha vulgaris.* Apparition.
Avril	2. *Pieris napi.* Vole.		23. *Pieris cardamines.* Vole.
	13. *Bombyx tau.* Vole.		

Observations faites à Vilvorde, près de Bruxelles, en 1862, par M. Alf. Wesmael.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Mars	1. *Cigogne.* Passe.	*Avril*	8. *Hirondelle des fenêtres.* Arrivée.
	12. *Pinson.* Chante.		17. *Rossignol.* Chante.
	27. *Fauvette à tête noire.* Chante.		24. *Martinet.* Arrivée.
Avril	3. *Merle.* Chante.		24. *Coucou.* Chante.

INSECTES.

Avril 24 (dans la soirée). *Hannecton.* Apparaît.

PLANTES AGRICOLES.

Le *seigle* était en épis	le 24 avril.	Le *Froment* était en épis	le 3 juin.
— en fleurs.	le 16 mai.	— en fleurs	le 7 —
— coupé.	le 9 juillet.	— coupé	le 26 juillet.

Observations faites à Melle, près de Gand, en 1862, par M. le professeur Bernardin.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Janvier 12. *Anser segetum.* Passe.
14. *Colias rhamni.* Paraît.
24. *Columba palumbus.* Passe.
Février 12. *Corvus cornix.* Séjourne.
13. *Turdus pilaris* Passe.
14. *Fringilla cœlebs.* Chante.
14. » *domestica.* S'apparie.
14. *Motacilla alba.* Vu.
18. *Colias rhamni.* Vole.
Mars 3. *Vanellus cristatus.* Passe.
5. *Corvus cornix.* Passe.
5. *Numenius pheopus.* Passe.
6. *Anser segetum.* Passe.
7. *Rana temporaria.* Vu en quantité.
8. *Corvus corone.* Passe.
8. *Turdus merula.* Chante.
8. *Fringilla domestica* Nidifie.
8. *Culex annulatus.* Vole.
9. *Corvus cornix* Passe.
9. *Vanellus cristatus.* Passe.
12. *Emberiza citrinella.* Chante.
13. *Vespertilio pipistrellus.* Vole.
Mars 14. *Anas boschas.* Passe.
15 à 18. *Corvus cornix.* Séjourne.
16. *Apis mellifica.* Vole.
18. *Ardea cinerea.* Passe.
18. *Rana temporaria.* Ponte.
19. *Corvus coronc.* Passe.
20. *Vanellus cristatus.* Passe.
21 à 31. *Helix nemoralis.* En quantité.
25. *Vanessa urticæ.* Vole.
25. *Coccinella quadripustulata.* Vole.
29. *Cyprinus auratus.* Fraient.
Avril 2. *Criocera merdigera.* Paraît.
4. *Sylvia atricapilla.* Chante.
9. *Cyprinus auratus.* Fraient.
11. *Hirunda rustica.* Arrive.
14. *Numenius pheopus.* Passe.
20. *Coccinella bipunctata.* Vole.
21. *Staphylins.*
22. *Sylvia luscinia.* Arrive.
22. *Alauda arvensis.* Petits volent.
25. *Sylvia luscinia.* Chante.
25. *Cuculus canorus.* Chante.

Avril	26.	*Sylvia hypolaïs.* Chante.	
	27.	*Cypselus apus.* Arrive.	
	28.	*Melolontha vulgaris.* Vole.	
	30.	*Oriolus galbula.* Chante.	
Mai	8.	*Agrion puella.* Vole.	
	8.	» *minium.* Vole.	
	11.	*Turdus merula.* Petits volent.	
	14.	*Hirundo rustica.* Nidifie.	
Mai	19.	*Rallus crex.* Crie.	
	21.	*Aeschna mixta.* Vole.	
Juin	2.	*Sylvia luscinia.* Petits volent.	
	3.	*Oriolus galbula.* Chante 2me fois.	
	3.	*Stapylins.*	
	26.	»	
	28	*Limax rufus.* Abondant depuis 8 jours.	

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Juillet	14.	*Staphylins.* En quantité.	
Août	1.	et 2. *Staphylins.*	
	9.	*Cypselus apus.* Part.	
	26.	*Motacilla alba.* Se prépare à partir.	
Septembre	9.	*Aphis populi.* Passe.	
	16.	*Sylvia luscina.* Vu dernière fois.	
	19.	*Hirundo urbica.* Part.	
	23.	*Vanessa atalanta.* Vole.	
	29.	*Hirundo rustica.* Part.	
Octobre	4.	» Vu dernière fois.	
	6.	*Aphis populi.* Passe.	
Octobre	6.	*Motacilla alba.* Vu.	
	7 à 9.	*Vanessa atalanta.* Vole.	
	8.	*Anthus pratensis.* Passe.	
	12.	» »	
	23.	*Corvus cornix.* Arrive.	
	28.	*Vanessa atalanta.* Vole.	
	31.	*Anas boschas.* Passe.	
Novembre	11 à 13.	*Anser segetum.* Passe en masse.	
Décembre	20, 21 et 22.	*Larus ridibundus* Séjourne.	
	23.	*Motacilla alba.* Vu.	

NB. Je ne mets pas « arrivée ou départ » pour la *Motacilla alba*, croyant que ces oiseaux passent souvent l'hiver ici.

Observations faites à Ostende, en 1862, par M. Édouard Lanszweert.

OISEAUX.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Janvier	16 au 21.	*Anas tadorna.* Passe par bandes.	
	19 et 20.	*Cygnus musicus.* Passent; 2 individus ont été tués dans le port.	
	22 et 23.	*Anser segetum.* Passe dans l'après-midi, se dirigeant vers le NO.	
Février	14.	*Fringilla cœlebs.* Passe.	
	20.	*Turdus iliacus.* Passe par bandes.	
Février	22 et 25.	*Anser segetum.* Passent au-dessus de la mer par bandes innombrables se dirigeant vers l'ENE.	
Mars	6.	*Anser segetum.* Passe toute la nuit.	
	5 et 14.	*Vanellus cristatus.* Passent par bandes nombreuses.	
	6.	*Alauda arvensis.* Chante.	

Mars 23. *Anser segetum.* Passe au soir par une pluie battante.
24. *Ardea cinerea.* Passe.
24. *Emberiza nivalis.* Passe par bandes.
27. *Corvus cornix.* Départ.
Avril 3. *Sylvia phœnicurus.* Arrive.
10. *Hirundo urbica.* Arrive.
Avril 11. *Sylvius hypolaïs.* Vu.
22. *Cypselus apus.*
23, 24 et 25. *Falco peregrinus.* Plane au-dessus de la ville.
29. *Numenius arquata.* Passe.
29. *Cuculus canorus.* Chante.
Mai 1. *Coturnix dactylisonans.* Arrive.

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Juillet 19. *Platalœa leucorhodia.* Passe du SE. vers le NO.
25. *Numenius arquata.* Passe le matin.
Août 16, 18, 19 et 20. *Tringa pugnax.* Passe.
30 et 31. *Totanus fuscus.* Passe.
Septembre 1. *Sterna hirundo.* Arrivent.
1. » *nigra.* Arrivent.
1 et 2. *Totanus fuscus.* Passe.
7. *Charadrius colloris.* Passe.
7. *Numenius arquata.* Passe.
16. *Caprimulgus europœus.* Pris un individu.
19. *Motacilla œnanthe.* Vu un grand nombre.
Septembre 26 et 27. *Sturnus vulgaris.* Passent par troupes nombreuses.
28. *Hirundo urbica.* Départ.
29. *Fringilla carduelis.* Arrivent.
Octobre 1. *Corvus cornix.* Arrive.
18. *Anser segetum.* Passe.
19 et 20. *Platalœa leucorhodia.* Passent par bandes.
Novembre 12. *Fringilla spinus.* Arrive.
Décembre 20. *Emberiza nivalis.* Vu des bandes nombreuses.
22. *Sylvia phœnicurus.* Vu un individu.

REPTILES.

Février 18. *Rana temporaria.* Réveil.
Mars 15. *Rana temporaria.* Vu des œufs.
Mai 11. *Lacerta vivipara.* Réveil.

POISSONS.

Août 9. *Scomber scombrus.* Apparition.
Octobre 25. *Clupea harengus.* Apparition.
Novembre 18. » *sprattus.* Apparaît.

INSECTES.

Mars	22. *Coccinella sexpunctata*. Apparaît.	apportée à la plage par la marée montante et formant sur le sable une bande noire d'environ 25 centimètres de largeur sur une étendue d'environ 2 kilomètres vers l'ouest d'Ostende.
Avril	5. *Meloë proscarabœus*. Apparaît.	
	25. *Melolontha vulgaris*. Vole.	
Mai	2. *Bibio hortulanus*. Vole.	
Mai	5. Quantité inombrable d'insectes coléoptères, hyménoptères, dipteres, etc, etc.,	

MAMMIFÈRES.

Talpa europæa a travaillé tout l'hiver; jamais il n'a été en plus grand nombre.	*Mars*	5. *Vespertilio pipistrellus*. Réveil.
	Avril	17. » *murinus*. Réveil.

Observations faites à Waremme et à Liége, en 1862, par MM. DE SELYS-LONGCHAMPS et Michel GHAYE.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Mars	16. *Grus cinerea*. Passe.	*Avril*	18. *Cuculus canorus*. Arrivés.
	16. *Phyllopneuste rufa*. Arrivés.		22. *Cypselus apus* (à Huy). Arrivés.
	25. *Ruticilla tithys*. Arrivés.		25. *Oriolus galbula*. Arrivés.
Avril	1. *Alosa*. Remonte la Meuse. (Liége.)	*Mai*	1. *Muscicapa grisola*. Arrivés.
	1. *Sylvia atricapilla*. Arrivés.		1. *Gomphus vulgatissimus*. Volent.
	1. *Hirundo rustica*. Arrivés.		7. *Libellula depressa* Volent.
	4. *Phyllopneuste sibilatrix*. Passage.		10. *Calopteryx virgo*. Volent.
	12. *Sylvia curruca*. Arrivés.		16. *Hypolaïs icterina*. Arrivée.

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Août	20. *Upupa epops*. Repasse.	*Octobre*	6. *Grus cinerea*. Premier passage.
Septembre	19. *Turdus musicus*. Repasse.		14. *Turdus iliacus*. Premier passage
	28. *Hirundo urbica*. Départ principal.		17. *Corvus cornix*. Arrive.
	28. » *rustica*. Départ principal.		

Observations faites à Jemeppe-sur-Meuse, en 1862, par M. Alf. de Borre.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Janvier 16. Pariade des *Pies*.
24. » *Moineaux*.
25. *Étourneaux* commencent à siffler.

Février 8. *Regulus ignicapillus*. Vu pour la dernière fois.
16. *Sylvia troglodytes*. Chante.
18. *Alauda arvensis*. Chante.
19. *Fringilla cœlebs*. Chante.
21. *Chauve-souris*.
21. *Fourmis* de plusieurs espèces.

Mars 7. *Pieris brassicæ*.
8. *Motacilla alba*.
10. *Vanessa urticæ*.
12. *Bombus*.
13. *Apis mellifica*.
14. *Lacerta muralis*.
14. *Vanessa polychloros*.
14. *Colias rhamni*.
14. *Harpalus aeneus*.
14. *Aphodius prodromus*.
15. *Sylvia tithys*. Arrivée et premier chant.
15. *Pederus riparius*.
26. *Sitona lincellus*.
27. *Carabus auratus*.
27. *Apion flavipes*.

Avril 3. *Hirundo rustica*. Vu auprès de Liége.
3. *Attagenus pellio*.
3. *Anthrenus scrophulariæ*.
7. *Phytonomus nigrirostris*.
7. *Phyllobius argentatus*.
7. *Sylvia atricapilla*. Vue pour la 1re fois.
8. *Zerene grossularia*. Éclosion des chenilles.
18. *Sylvia atricapilla*. Chante.
19. *Calvia guttata*.
19. *Cleonus trisulcatus*.
20. *Hirundo rustica*. Arrivée.
20. *Melolontha vulgaris*.
20. *Meloe proscarabœus*.
20. *Malachius œneus*.
21. *Vespa*.
22. *Motacilla flava*. Jeunes sortant du nid.
22. *Trichodes alvearius*.

Avril 22. *Cytilus varius*.
24. *Sylvia luscinia*. Chante.
24. *Hirundo urbica*. Arrivée.
25. *Feronia cuprea*.
25. *Valgus hemipterus*.
25. *Cypselus apus*. Arrivée.
25. *Anobium tessellatum*.
25. *Rhizotrogus aestionus*.
26. *Crioceris asparagi*.
26. *Grammatoptera ruficornis*.
29. *Cerambyx ardo*.
29. *Corymbites castaneus*.

Mai 1. *Pieris cardamines*.
1. *Cicindela campestris*.
1. *Anthaxia nitidula*.
1. *Pachyta collaris*.
1. *Telephorus anticus*.
2. *Oriolus galbula*. Chante.
4. *Musicapa grisola*.
6. *Carpes*. Fraient.
6. *Agrion puella*.
8. *Lacon murinus*.
8. *Anthocomus equestris*.
9. *Gnorimus nobilis*.
9. *Telephorus dispar*.
11. *Sylvia hypolaïs*. Chante.
15 *Loricera pilicornis*.
15. *Callidium variabile*.
16. *Callidium violaceum*.
16. *Pachyta 10-maculata*.
18. *Crioceris merdigera*.
20. *Anaglyptus mysticus*.
20. *Oberea pupillata*.
20. *Cetonia aurata*.
20. *Oxythyrea stictica*.
20. *Clytus arietis*.
20. *Tillus elongatus*.
20. *Phyllopertha horticola*.
24. *Trichodes apiarius*.
24. *Rhamnusium salias*.
24. *Necydalis rufa*.
25. *Athous leucophœus*.
25. *Chlorophanus viridis*.

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Août	3. *Cypselus apus.* Départ.	*Novembre*	19. Le matin passage d'oiseaux (oies ou canards).
Octobre	8. *Grus cinerea.* Passage.	*Décembre*	29. Passage de corbeaux allant vers le sud.

Malgré le degré d'avancement remarquable de la végétation cette année, les oiseaux sont en retard sur les années précédentes, surtout les hirondelles qui n'ont paru ici, l'*H. rustica*, que le 20 avril et l'*H. urbica*, que le 24. La Fauvette à tête noire, vue le 8, ne s'est mise à chanter que le 18; le Rossignol n'a commencé à se faire entendre que le 24. Au contraire, les Martinets sont arrivés le 26, par un temps très-chaud, en avance d'une semaine sur leur époque normale.

Jemeppe, 1862. (E. de Borre.)

Observations faites à Namur, en 1862, par M. A. Bellynck.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Février	16. Les *alouettes* montent en chantant.	*Mars*	26. *Gonopteryx rhamni.*
Mars	7. *Musca domestica.*		26. *Melœ proscarabeus.*
	16. *Vanessa urticæ.*		26. *Lacerta.*
	16. *Anguis fragilis.*		26. *Triton.*
	19. *Rana.*	*Avril*	14. *Melolontha vulgaris.*
	19. *Vipera berus.*		

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Août 30. *Œdipoda migratoria.*

Observations faites à Vienne, en 1862, par M. Charles Fritsch.

PÉRIODE DE PRINTEMPS.

Mars	1. *Alauda arvensis.* Chante.	*Avril*	22. *Pieris brassicæ.* Apparaît.
	10. *Apis mellifica.* Vole.		24. *Byrrhus pilula.* Apparaît.
	10. *Chilocorus quadripustulatus.* Apparaît.		24. *Coccinella bipunctata* Apparaît.
	10. *Colias rhamni.* Vole.		24. *Cuculus canorus.* Chante.
	10. *Vanessa polychloros.* Vole.		27. *Crioceris* 12-*punctata.* Apparaît.
	10. » *urticæ.* Vole.		30. *Papilio machaon.* Vole.
	15. *Aphodius fimetarius.* Apparaît.		30. *Lacon murinus.* Apparaît.
	15. *Gyrinus mergus.* Vole.	*Mai*	2. *Coturnix dactylisonans.* Chante.
	28. *Meloë proscarabeus.* Apparaît.		3. *Malachius æneus.* Apparaît.
Avril	1. *Bombus terrestris.* Vole.		5. *Libellula depressa.* Vole.
	6. » *lapidarius.* Vole.		6. *Pœcilus cupreus.* Apparaît.
	6. *Cetonia aurata.* Apparaît.		15. *Oxythyrea stictica.* Apparaît.
	7. *Pieris cardamines.* Vole.		17. *Bibio hortulanus.* Apparaît.
	7. *Vanessa atalanta.* Vole.	*Juin*	3. *Trichodes apiarius.* Apparaît.
	8. *Pieris napi.* Apparaît.		3. *Clytus mysticus.* Apparaît.
	19. *Telephorus rusticus.* Apparaît.		21. *Crioceris asparagi.* Apparaît.

PÉRIODE D'AUTOMNE.

Août	2. *OEdipodes migratoria.* Apparaît.

OBSERVATIONS FAITES A DES ÉPOQUES DÉTERMINÉES.

État de la végétation le 21 mars 1862.

(Pour la Feuillaison, on représente par 1, feuillage complet; 3/4, feuilles aux trois quarts de leur grandeur; 1/2, moitié grandeur; 1/4, quart de grandeur; 1/8, bourgeons ouverts ou très-petites feuilles initiales; par *bourgeons*, on entend seulement ceux qui sont à moitié ouverts et par 0, on entend absence de feuillaison.

NOMS DES PLANTES.	VILVORDE. — (M. Wesmael.)	ANVERS. — (M. Rigouts.)	OSTENDE. — (M. Lans-zweert.)	LIÉGE. — (M. Dewal-que.)	JEMEPPE. — (M. de Borre.)	NAMUR. — (M. Bellynck.)	WAREMME. — (M. de Selys.)	MELLE. — (M. Bernar-din.)	VIENNE. — (M. Fritsch.)
Feuillaison.									
Æsculus hippocastanum. .	—	Bourgeons	—	1/8	Bourgeons.	Bourgeons.	Bourgeons.	Bourgeons.	Bourgeons.
— pavia.	—	—	—	—	—	—	—	Id.	
Alnus glutinosa	—	—	—	Bourgeons.	—	Bourg.	—	—	0
Amygdalus communis. . .	—	0	—	—	—	—	—	0	1/8
— persica	—	—	—	—	—	Bourg.	—	1/8	Bourg.
Aristolochia sipho.	—	—	—	—	—	—	—	Bourg.	
Arum maculatum	—	1	—	3/4	—	1/4	3/4	—	1/4
Betula alba	—	0	—	—	0	Bourg.	—	Bourg.	0
Berberis vulgaris	—	Bourg.	—	1/8	1/8	Id.	—	1/8	Bourg.
Bignonia catalpa	—	—	—	—	—	—	—	0	
— radicans.	—	—	—	—	—	—	—	0	
Carpinus betulus	—	Bourg.	—	—	Bourg.	Bourg.	—	—	Bourg.
Cercis siliquastrum	—	—	—	—	—	—	—	0	
Colutea arborescens. . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	1/8
Corchorus japonica	1/4	1/4	—	1/4	1/4	1/2	1/4	1/4	Bourg.
Cornus mascula.	—	0	—	1/8	—	Bourg.	1/8	—	0
— sanguinea	—	1/8	—	1/8	—	—	—	Bourg.	1/8
Corylus avellana	—	1/4	1/2	—	1/8	Bourg.	B. ouverts.	1/8	0
Cratægus oxyacantha. . .	—	1/8	—	1/8	1/8	Id.	Bourg.	1/8	Bourg.
Cytisus laburnum.	—	1/8	—	—	Bourg.	Id.	—	—	Id.
Daphne laureola.	—	—	—	1/4					
— mezereum.	—	1/4	1/8	1/2	—	1/2	1/2	—	1/2
Ginkgo biloba.	—	—	—	—	—	—	—	Bourg.	
Gleditschia horrida	—	—	—	—	—	—	—	0	
Glycine sinensis.	—	—	—	—	—	—	—	0	
Hydrangea hortensis . . .	—	1/4	—	—	—	1/8			
Juglans regia	—	—	—	—	—	—	—	Bourg.	
Larix europæa	—	—	—	1/8	Bourg.	Bourg.	—	1/4	1/8

NOMS DES PLANTES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	VIENNE.
Feuillaison (*suite*)									
Ligustrum vulgare	—	—	—	—	—	—	—	1/2	
Liriodendron tulipifera . .	—	—	—	—	—	—	—	Bourgeons.	
Lonicera periclymenum. .	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
— symphoricarpos.	—	1/2	—	1/4	1/8	1/4	1/4	1/8	1/8
— xylosteon	—	Bourgeons.	—	1/2	1/4	Bourgeons.	1/4	—	1/8
Magnolia yulan	—	0							
Mespilus germanica. . . .	—	Bourg.	—	—	—	—	—	Bourg.	1/8
Philadelphus coronarius. .	Bourgeons.	1/4	—	1/4	1/4	1/4	—	1/8	1/8
Populus alba	—	0	—	—	—	0	—	0	
— balsamifera . . .	—	—	—	—	—	—	—	Bourg.	
— fastigiata.	—	Bourg.							
Prunus armeniaca.	—	—	—	—	1/8	Bourg.	—	Bourg.	
— cerasus.	—	Bourg.	—	—	1/8	—	Bourgeons.	Id.	1/8
— domestica	—	—	—	—	—	Id.	—	—	0
— padus	—	1/8	—	—	1/8	Bourg.	Bourg.	—	1/8
Pyrus communis	—	1/8	—	—	1/8	—	—	Bourg.	0
— cydonia.	—	—	—	—	1/8	Bourg.			
— japonica.	—	3/4	1/2	3/4	1/2	1/2	3/4	1/2	1/8
— malus	—	—	—	—	1/8				
Rhus coriaria	—	—	—	—	—	—	—	Bourg.	
— cotinus	—	—	—	—	—	—	—	0	Bourgeons.
Ribes alpinum.	—	—	—	—	1/8	1/2	1/4	—	1/8
— grossularia	—	3/4	1	3/4	1/8	1/2	1/2	—	1/2
— nigrum.	—	3/4	—	1/4	1/4	—	1/4	1/4	
— rubrum.	1/4	1/2	1/4	—	1/8	1/8	—	1/4	
— sanguineum.	—	1/4	—	1/2	1/8	1/4	1/4		
— uva crispa.	—	1/4	—	—	—	1/4	1/2		
Robinia pseudo-acacia . .	—	0							
Rosa centifolia	—	0	—	—	—	—	—	—	Bourg.
— gallica.	—	1/4	—	—	—	—	1/8	—	Id.
Salix babylonica	1/4	1/4	—	—	1/8	Bourg.	1/8	1/4	1/8
Sambucus nigra.	1/4	1/4	—	1/2	1/8	1/4	1/8	1/8	1/8
Sorbus aucuparia	—	Bourg.	—	—	—	—	—	Bourg.	Bourg.
Spiræa sorbifolia	—	3/4	—	3/4	—	1/4	3/4	—	1/2
Staphylæa pinnata	—	1/8	—	1/8	1/8	Bourg.	—	1/8	Bourg.
Syringa persica	—	1/4	—	—	1/8	1/4	1/8	—	Id.
— vulgaris	1/4	1/4	Bourgeons.	—	1/8	1/4	1/4	—	1/8
Tilia europæa	—	Bourg.							
Ulmus campestris	—	0	—	—	—	—	—	—	0
Viburnum lantana.	—	1/8	—	—	1/8	1/8	—	—	1/8
— opulus	—	1/8	—	1/8	1/8	1/8	—	Bourg.	1/8

NOMS DES PLANTES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	VIENNE.
Floraison.									
Adonis vernalis	—	—	—	Générale.					
Adoxa moscatellina									
Alnus glutinosa	—	—	—	Terminée	—	Avancee.	Terminée.		
Anemone hepatica.	—	Terminée.	—	Avancée.	—	Id.	Générale.	Avancée.	Avancee.
— nemorosa	—	Commence.	—	Générale.	—	Commencée.	Id.		
Amygdalus communis. . .	Commencée.	Boutons.	—	—	—	—	Id.	0	0
— persica	—	—	Partielle.	Générale.	Générale.	Commencée.	Id.	0	0
Arabis albida	—	—	—	Id.					
— lilacina	—	—	—	Id.					
— caucasica	—	Générale.	—	—	—	Générale.			
Armeniaca vulgaris	Commencée.								
Arum maculatum									
Aubrietia deltoïdea	—	—	—	—	—	Générale.			
Berberis vulgaris	—	—	—	—	—	—	—	0	
Bellis perennis	Commencée.	Générale.	—	Générale.	Partielle.	Générale.	—	Partielle.	
Betula alba	—	Id.	—	--	—	0	Châtons.	—	Boutons.
Buxus sempervirens . . .	—	Boutons.	—	Commence.	Terminée.	0	Générale.	Commence.	Id.
Caltha palustris.	Commencée.								
Cardamine pratensis . . .	—	—	—	—	Commence.				
Cheiranthus cheiri	—	—	—	Boutons.					
Corchorus japonica	—	Commence.	—	Petits bout.	Boutons.	0	—	0	Boutons.
Cornus mascula.	Totale.	Continue.	—	Générale.	—	Générale.	Presque finie.	—	Commence.
— sanguinea	—	—	—	—	—	—	—	Commence.	
Corydalis bulbosa.	—	—	—	Commence.					
Corylus avellana	Terminée.	Terminée.	Générale.	Terminée.	Terminée.	Avancée.	Terminée.	Terminée	Terminée.
Crocus vernus.	Avancée.	Générale.	—	Id.	—	Terminée.	Presque finie.	Id.	Boutons.
Daphne mezereum.	Id.	Id.	—	Avancée.	—	Id.	Id.	—	Générale.
— laureola.	—	0	—	Générale.	—	Générale.	Id.		
Ficaria ranunculoïdes. . .	—	—	—	Commence.					
Fritillaria imperialis. . . .	—	—	—	Boutons.	—	—	—	Boutons.	
Galanthus nivalis	Terminée.	Terminée.	—	Avancée.	—	Terminée.	Presque finie.	—	Générale.
Helleborus niger	—	Id.	—	Terminée.	—	Id.	Terminée.	—	Avancee.
— viridis.	—	—	—	Générale.					
Hyacinthus botryoides . .	—	—	—	—	Commence.				
— orientalis . . .	—	—	—	Générale.	0				
Hyoseyamus orientalis . .	—	—	—	Id.					
Iberis sempervirens. . . .	—	—	—	Boutons.					
Lamium maculatum. . . .	Commencée.								
— purpureum. . . .	—	—	—	Générale.	Partielle.	Générale.	—	Générale.	Avancee.
Leontodon taraxacum. . .	Commencée.	0	—	Id.	—	Commencée.	—	—	Boutons.
Magnolia yulan	—	Gros bout.	—	Commence.	—	0	Boutons.		
Muscari botryoides	—	—	—	Générale.	—	Commencée.			

NOMS DES PLANTES.	VILVORDE.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	VIENNE.
Floraison (*suite*).									
Narcissus pseudo-narcissus.	Commencée.	Gros bout.	—	—	Boutons.	Commencée.	Générale.	Générale.	
Orobus vernus.	—	—	—	—	—	—	—	Commence.	
Philadelphus coronarius. .									
Primula auricula	—	—	—	—	Générale.	0			
— elatior	—	—	—	—	—	Générale.	Commencée.	Générale.	
— grandiflora. . . .	—	—	—	Générale.					
— officinalis.	—	—	—	—	—	Commencée.	Générale.		
— veris	—	Générale.	—	Commence.	—	—	—	—	Boutons.
Prunus armeniaca.	—	—	Avancee.	Générale.	Générale.	Générale.	—	Commence.	
Pyrus communis	—	—	—	—	Commence.				
— japonica	Boutons.	Commence.	—	Commence.	—	0	—	Commence.	Boutons.
— malus	—	—	—	—	Boutons.				
Populus alba	Terminée.	0	—	—	—	0	Chat. tombés.		
— fastigiata.	Commencée.	Générale.	—	—	Très-avancée.				
Pulmonaria officinalis. . .	—	—	—	—	—	—	—	Commence.	
Rhododendron dahuricum.	—	—	—	Générale.					
Ribes alpinum.	—	—	—	—	0				
— grossularia	—	—	—	Commence.					
— nigrum.	—	—	—	—	0	—	—	0	
— rubrum.	—	—	—	—	—	—	—	0	
— sanguineum.	—	Très-avancée.	—	Commence.	0	—	Générale.		
— uva-crispa	—	0	—	—	—	0			
Ranunculus ficaria	Commencée.	Commence.	—	—	Partielle.	Commencée.	Commencée.	Avancée.	Boutons.
Rhodora canadensis. . . .	—	Terminée.							
Salix capræa	Commencée.	0	—	Commence.	—	Générale.	Générale.		
— virginalis.	Id.								
Sambucus nigra.	—	—	—	Petits bout.					
Senecio vulgaris.	—	—	—	Générale.	Partielle.	Générale.			
Staphylea pinnata	—	Boutons.							
Syringa persica.	—	—	—	Boutons.					
— vulgaris		—	—	Id.	—	—	—	Boutons.	
Taxus baccata.	—	Générale.	—	Générale.	—	Avancée.			
Tussilago farfara									
— petasites	—	—	—	Générale.					
Ulmus campestris.	Commencée.	—	—	Avancée.	Avancée.	Commencée.			
Viola odorata	Id.	Générale.	—	Générale.	Générale.	Avancée.	Générale.	Partielle.	0
— tricolor	—	—	—	—	Commence.	0			
Vinca minor.	—	Commence.	—	Générale.	Id.	0	Commencée.	Commence.	0

Remarque. — L'hiver a été excessivement doux. Il n'a point neigé et il n'y a eu pour ainsi dire de gelées assez rudes que pendant quelques jours, à la fin de décembre ; quelques autres, presque isolés, ont eu lieu en janvier. Tout le mois de mars a été superbe et chaud avec très-peu d'humidité. La végétation est encore plus avancée à cette époque, qu'au 21 mars 1861.

Waremme, 21 mars 1862. (Edm. de Selys-Longchamps).

État de la végétation le 21 avril 1862.

(Pour la Feuillaison voyez la note en tête du premier tableau.)

NOMS DES PLANTES.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	VIENNE.
Feuillaison.								
Æsculus hippocastanum	3/4	—	1/2	1	1	1/4	1/8	1
— pavia	—	—	—	—	—	—	1/2	
Alnus glutinosa	—	—	1/4	—	1/2	0	—	1/2
Amygdalus communis	1/2	—	—	—	—	—	1/8	
— persica	—	1/4	1/2	—	1/2	1/2	1/2	
Aristolochia sipho.	—	—	—	—	—	—	Bourgeons.	
Arum maculatum.	1	—	1	—	1	1	—	1
Berberis vulgaris.	1	—	1	1	1/2	3/4	1	1
Betula alba.	1	—	1/2	1/4	1/2.	1/4	1/4	1
— alnus	—	—	—	—	—	—	1/4	
Bignonia catalpa.	—	—	—	—	—	—	(Gelé).	
— radicans	—	—	—	—	—	—	Bourg.	
Carpinus betulus.	1/2	—	1/4	1/4	1/2	1/8	1/2	3/4
Cercis siliquastrum	—	—	—	—	—	—	0	
Corchorus japonica	1	—	1	1	1	1	1/2	3/4
Cornus mascula.	3/4	—	1/2	—	1/2	1/4	—	3/4
— sanguinea	3/4	—	—	—	1/2	—	3/4	
Corylus avellana	3/4	1/2	3/4	1/2	1/2	3/4	3/4	3/4
Cratægus oxyacantha	1	1/4	1	3/4	1	3/4	1/2	3/4
Cytisus laburnum	1/2	—	1/4	1/4	1/2	1/8	—	3/4
Daphne mezereum	1	—	1	—	1	1	—	1
Evonymus europæus.	—	—	—	—	—	—	3/4	
Fagus sylvatica	—	—	—	—	0			
Ginkgo biloba	—	—	—	—	—	—	Bourg.	
Gleditschia horrida.	—	—	—	—	—	—	Id.	
Glycine sinensis	—	—	—	—	—	—	Petits bourg.	
Hydrangea hortensis.	1/2	—	—	—	—	—	1/4	
Juglans regia	—	—	—	—	—	—	1/8	
Larix europæa.	—	—	1	3/4	1/2	1	1/2	1
Ligustrum vulgare.	—	—	—	—	—	—	1/2	
Liriodendron tulipifera	—	—	—	—	—	—	1/8	
Lonicera periclymenum	1	1	1	1	1	1	3/4	1
— xylosteum	1	—	1	—	1	1	—	1
— symphoricarpos	1	—	—	—	—	—	3/4	
— tatarica	1/4	—	—	—	—	—	3/4	
Mespilus germanica	3/4	—	—	—	—	—	1/2	
Philadelphus coronarius	1	—	—	—	1	—	1	

NOMS DES PLANTES.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	VIENNE.
Feuillaison (*suite*).								
Populus alba	1/4	—	1/4	—	—	1/8	1/8	3/4
— fastigiata	3/4	—	3/4	3/4	1/2	1/4		
Prunus armeniaca	—	—	3/4	1	1/2	3/4	3/4	
— cerasus	3/4	—	1/2	3/4	1/2	1/4	1/4	3/4
— domestica	—	—	1/4	—	1/2	1/4	—	3/4
— padus	1	—	3/4	1	1	3/4	—	1
Pyrus communis	3/4	1/2	1/2	1	1/2	1/4	1/2	1
— cydonia	—	—	—	—	—	—	—	3/4
— japonica	1	—	1	—	1	1	1	1
— malus	—	—	1/4	—	1/2	1/4		
Ribes rubrum	1	—	3/4	3/4	1	3/4	1/2	
— sanguineum	1	—	3/4	1/2	1	3/4		
— nigrum	1	—	1	1	1/2	1	3/4	
— grossularia	1	1/2						
— uva-crispa	1	—	—	1/2				
Rhus coriaria	—	—	—	—	—	—	Bourgeons.	
— cotinus	—	—	—	—	—	—	Petits bourg.	
Rosa centifolia	1/2							
— gallica	3/4							
Robinia pseudo-acacia	1/4	—	0	1/8	—	0	—	1/4
Salix babylonica	3/4	—	3/4	1/2	—	3/4	1/2	1
Sambucus nigra	3/4	—	1	3/4	1	3/4	1/2	
Spiræa sorbifolia	1	—	1	—	1	1	—	1
Sorbus aucuparia	1	—	—	—	—	—	3/4	
Syringa persica	3/4	—						
— vulgaris	1	1	1	1	1	3/4	1	1
Staphylæa pinnata	1/2	—	3/4	1	—	1/2	1/2	1/2
Tilia europæa	3/4	—	3/4	1/4	1/2	1/2	3/4	1/2
Ulmus campestris	1/4	—	1/8	1/2	1/2	Bourgeons.	1/4	3/4
Viburnum opulus	3/4	—	1/4	3/4	1	1/4	1/2	1
— lantana	3/4	—						
Vitis vinifera	—	—	1/8	1/8	—	Bourg.	Petits bourg.	1/2
Floraison.								
Anemone hepatica	Finie.	—	Finie.	—	Finie.	Finie.	Finie.	Finie.
— nemorosa	Continue.	—	Générale.	—	Presq. finie.	Générale.	Presquefinie.	Générale.
Amygdalus persica	—	Générale.	Finie.	—	—	Finie.	Finie.	
— communis	Finie.							
Arabis caucasica	Continue.							
Betula alba	Finie.							
Bellis perennis	Continue.	—	Générale.	Générale.	Générale.	Générale.	Générale.	Générale.
Berberis vulgaris	—	—	Commencée.	—	—	Boutons.	Commence.	Boutons.

NOMS DES PLANTES.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	VIENNE.
Floraison (*suite*).								
Buxus sempervirens	Générale.	—	Finie.	Finie.	Finie.	Finie.	Finie.	Finie.
Cardamine pratensis	—	—	Tend à finir.	Très-avancée.	Presque finie.	Tend à finir.		
Caltha palustris	—	—	—	—	Générale.	Générale.		
Cheiranthus cheiri	—	—	Presque finie.	—	Id.	Id.	—	Avancee.
Cornus mascula	Finie.	—	Commencée.	—	Finie.	Finie.	—	Finie.
— sanguinea	—	—	—	—	—	—	Boutons.	
Corchorus japonica	Générale.	—	Finie.	Avancée.	Générale.	Générale.	0	0
Corylus avellana	Finie.	—	Commencée.	Finie.	Finie.	Finie.	Finie.	Finie.
Crocus vernus	Id.	—	Id.	—	Id.	Id.	—	Id.
Daphne laureola	Générale.	—	—	—	Id.	Id.		
— mezereum	Finie.	—	—	—	Id.			
Erica herbacea	—	—	—	—	Id.			
Fritillaria imperialis	—	—	Générale.	Finie.	Id.	Générale.	Finie.	Finie.
Galanthus nivalis	Finie.	—	Finie.	—	Id.	Finie.	—	Id.
Glechoma hederacea	—	—	Générale.	Avancée.	Générale.	Générale.	—	Générale.
Glycine sinensis	—	—	—	—	—	—	0	
Helleborus niger	Finie.							
Hyacinthus amethystinus	—	—	—	Générale.				
— botryoïdes	—	—	Finie.	Finie.	—	Finie.		
Lamium album	—	—	Générale.	Générale.	Générale.	Générale.	Générale.	
— purpureum	—	—	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	
Leontodon taraxacum	Continue.	—	—	Id.	Id.	—	—	Générale.
Lonicera alpigena	—	—	Générale.	—	—	Commence.	—	Id.
— periclymenum	—	—	—	—	—	—	Boutons.	Commencée.
Magnolia yulan	Finie.	—	Finie.	—	Finie.	Finie.		
Narcissus pseudo-narcissus	Continue.	—	—	—	Id.	Finie.	Finie.	Finie.
Orobus vernus	—	—	—	—	—	—	Id.	Générale.
Populus alba	0	—	Finie.	—	—	Finie.	—	Finie.
— fastigiata	Finie.							
Primula auricula	—	—	—	—	Presque finie.	—	—	Finie.
— elatior	—	—	Générale.	—	Id.	Générale.	Presque finie.	
— officinalis	—	—	Finie.	—	Id.	Finie.		
— veris	Continue.							
Prunus armeniaca	—	—	Finie.	—	Finie.	Finie.	Finie.	Finie.
— cerasus	—	—	Presque finie.	—	Générale.	Générale.	Presque finie.	Presque finie.
— domestica	—	—	Finie.	—	Id.	Presque finie.		Finie.
— padus	—	—	Presque finie.	—	Générale.	Commence.	—	Presque finie.
— spinosa	—	—	—	—	Presq. finie.	Finie.	—	Id.
Pulmonaria officinalis	—	—	—	—	—	—	Presque finie	
Pyrus communis	—	1	Générale.	—	Générale.	Générale.	Générale.	Finie.
— cydonia	—	—	—	—	—	—	—	Boutons.

NOMS DES PLANTES.	ANVERS.	OSTENDE.	LIÉGE.	JEMEPPE.	NAMUR.	WAREMME.	MELLE.	VIENNE.
Floraison (*suite*).								
Pyrus japonica.	Finie.	Générale.	—	—	Presque finie.	—	Générale.	Générale.
— malus	—	—	Générale.	—	Générale.	Générale.	—	Id.
Ranunculus ficaria.	Continue.	—	Id.	Presque finie.	Finie.	Id.	Presque finie.	Id.
Ribes nigrum.	—	—	Presque finie.	Générale.	Générale.	Id.	Générale.	
— rubrum.	—	—	Id.	Avancée.	Presque finie.	Presque finie.	Id.	
— sanguineum	Continue.	—	Générale.	Très-avancée	Finie.	Générale.		
— uva-crispa.	Finie.	—	Finie.	Générale.	Id.	Finie.		
— grossularia.	—	—	Id.	—	—	Id.	—	Finie.
Salix capræa	Générale.	—	—	—	Finie.	—	—	Id.
Scilla nutans	—	—	—	—	0			
Senecio vulgaris	—	—	Générale.	—	Générale.	Générale.		
Staphylea pinnata	Générale.	—	—	—	—	—	Partielle.	
Syringa vulgaris	—	Générale.	Générale.	Commence.	—	Commencée.	Commence.	Avancée.
Taxus baccata	Finie.	—	—	—	—	—	Boutons.	
Tulipa gesneriana								
Tussilago petasites.	—	—	—	—	Finie.			
Ulmus campestris	Générale.							
Viburnum opulus.	—	—	—	—	—	Boutons.	—	Boutons.
Viola odorata.	Continue.	—	Générale.	—	Finie.	Finie.	Presque finie.	Finie.
Vinca minor.	Id.	—	Id.	—	Générale.	Générale.	Générale.	Avancée.

Remarque. — Au commencement d'avril, il y avait une avance très-notable dans la végétation ; elle a été arrêtée un peu ensuite du 13 au 15 par des gelées qui ont fait descendre le thermomètre à — 1° C. Cependant, le 21 il y avait encore une avance d'environ 15 jours sur une année ordinaire, et le 25 le thermomètre s'est élevé à + 25° C. Un pied de Lilas blanc, qui avait encore des fleurs le 14 mai 1852, a commencé à fleurir dès le 5 avril 1862.

Ayant fait les observations à Liége, sur l'état de la végétation au 21 avril, en l'absence et à la demande de M. Dewalque, il m'a semblé que le retard qu'éprouve Waremme sur Liége, cette année, peut être évalué de 12 à 15 jours. L'altitude de Waremme est de 122^{m}, celle du fond de la vallée de Liége d'environ 60 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Waremme et Liége, le 21 avril 1862. (Edm. de Selys-Longchamps).

État de la végétation le 21 octobre 1862.

(Les chiffres 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1, indiquent la quantité des feuilles restant sur les arbres.)

NOMS DES PLANTES.	VILVORDE.	ANVERS.	MELLE.	OSTENDE.	WAREMME.	NAMUR.	VIENNE.
Effeuillaison.							
Acer campestre	—	—	—	—	—	1	
— negundo	—	1	—	—	3/4	1	0
— pseudo-platanus	3/4	0	3/4	—	3/4	3/4	1/2
Æsculus hippocastanum	3/4	3/4	3/4	—	3/4	1/2	1/2
— pavia	—	—	1				
Amygdalus communis	1						
— persica	1/2	1	1	1/4	3/4	1	1/2
Aristolochia sipho	—	0	1/2	—	3/4	0	1/2
Berberis vulgaris	—	1/4	3/4	—	1	1	1/2
Betula alba	—	1/4	3/4	—	3/4	1	1/2
— alnus	—	—	—	—	3/4	1	0
Bignonia catalpa	—	1/4	1	—	1/2	—	1/4
— radicans	—	—	1				
Carpinus betulus	—	3/4	—	—	3/4	1	1/2
Castanea vesca	—	—	—	—	—	1	
Cercis siliquastrum	—	1	1	—	1	1	3/4
Corchorus japonica	—	—	3/4				
Cornus mascula	—	1	—	—	3/4	1	1
— sanguinea	—	1/2	3/4	—	1/2	1	3/4
Corylus avellana	—	1/4	1/2	—	—	1	1/4
Cratægus oxyacantha	—	1/2	1	1/2	1	1	1/2
Cytisus laburnum	—	3/4	1/2	—	1	1	3/4
Evonymus europæus	—	3/4	1/2	—	1	1	1/2
Fagus castanea	—	1/4	—	—	1/2		
— sylvatica	—	1	—	—	1	1	1/2
Ficus carica	—	—	—	—	1	1	
Fraxinus excelsior	3/4	1	—	—	1	1	3/4
Gleditschia horrida	—	—	1/2				
— triacanthos	—	—	—	—	0		
Glycine sinensis	—	1	1	—	1	1	
Ginkgo biloba	—	1	1	—	1	1/2	3/4
Hydrangea hortensis	—	1	1	—	1	1	1
Juglans regia	—	1/2	1/2	—	3/4	1/2	1/2
Ligustrum vulgare	—	1	1	—	1	1	3/4
Liriodendron tulipifera	—	—	1/4	—	1/2	1	
Larix europæa	—	1	—	—	3/4	1	1
Lonicera xylosteum	—	1/4	—	—	—	1	1/2
— symphoricarpos	—	—	1/2				
— periclymenum	—	—	1/2				
Magnolia tripetala	—	—	—	—	1	1	
— yulan	1/4						
Mespilus germanica	—	—	1				

NOMS DES PLANTES.	VILVORDE.	ANVERS.	MELLE.	OSTENDE.	WAREMME.	NAMUR.	VIENNE.
Effeuillaison (*suite*).							
Morus alba.	—	1	—	—	—	1	0
Paulownia imperialis	—	1/4	—	—	1	—	1/2
Philadelphus coronarius.	—	1/2	3/4	—	1	1	3/4
Platanus occidentalis.	—	1/4	—	—	—	1	3/4
Populus alba	1/2	1/2	1/2	—	1/4	—	3/4
— virginica.	—	1/2	—	—	0	1	
Prunus armeniaca	—	1/4	3/4	1/4	3/4	1	
— cerasus	—	1/2	1/2	—	3/4	1	1/2
— domestica	—	1/4	—	1	1/2	1	
— padus.	—	1/4	—	—	1/2	1	1/2
Pyrus communis	1/4	1	1/2	—	3/4	1	1/2
— japonica	—	1/2	1	—	1	1	1
— malus	1/2	3/4	1/2	—	1	1	1/2
Quercus robur.	1	1	1	—	1	1	1
Rhus coriaria	—	—	3/4				
— cotinus	—	—	3/4				
Ribes alpinum.	—	0	—	—	1	1	1/2
— grossularia.	—	1/4	—	—	3/4	1	3/4
— nigrum	—	1/8	3/4	—	1	1	
— rubrum	—	1/4	0	—	0	1	1
— sanguineum	—	1/2	—	—	3/4	1	
Robinia pseudo-acacia	1	1/4	—	—	1	1	3/4
Rosa gallica.	—	3/4	—	—	1	1	
Rubus idæus	—	3/4	—	—	3/4	1/2	3/4
Salix babylonica	1	3/4	3/4	—	1		
— capræa	—	—	—	—	—	1	1
Sambucus nigra	1	1	3/4	1/4	3/4	1	
Sorbus aucuparia.	1/4	1/2	1/4	—	0	1	3/4
Staphylea pinnata	—	0	1/2	—	3/4	1	1/4
Syringa vulgaris	1/2	3/4	3/4	—	3/4	1	3/4
Tilia europæa	—	3/4	1/2	—	1	1	1/2
Ulmus campestris.	1/2	1	1	—	1	1	1
Viburnum lantana	—	1	1	—	3/4	1	3/4
— oxycoccos	—	—	—	—	3/4		
Vitis vinifera	3/4	1/4	1/2	—	3/4	1	3/4
Floraison.							
Aster.	—	Générale.	Avancée.	—	Générale.	—	Avancée.
Dahlia.	—	Id.	Id.	—	Avancée.	—	Id.
Hedera helix	—	Finie.	—	—	Id.		
Helianthus tuberosus.	—	La tige a péri sans floraison.	Avancée.	—	Générale.	—	Finie.
Fructification.							
Castanea vesca.	—	—	—	—	Mûrs.		
Vitis vinifera	—	—	—	—	Id.		

REMARQUES.

L'effeuillaison a été tardive cette année, mais moins cependant qu'en 1860, où, sur cinquante-neuf plantes observées, cinquante-quatre conservaient tout ou les trois quarts de leur feuillage. Jusqu'au 3 novembre, aucune véritable gelée n'est venue flétrir les plantes tendres, comme les *Capucines*, les *Topinambours*, les *Heliotropes*, les *Balsamines* et les *Dahlias*. Le seul oiseau d'hiver arrivé à Waremme est la *Corneille grise*.

Waremme, 21 octobre 1862.

(Edm. de Selys-Longchamps.)

Le 1er octobre de cette année, les plantes suivantes ont eu une seconde floraison au Jardin botanique d'Anvers : l'*Arabis caucasica*, l'*Astrantia major*, le *Curicus uncinatus*, le *Chelone obliqua*, le *Corchorus japonicus*, le *Cytisus laburnum*, le *Delphinum elatum*, le *Genistra elatum*, l'*Hieracium aurantiacum*, l'*Hepericum calycinum*, le *Melina nepeta*, le *Papaver pilosum*, le *Penstemon atropurpureum*, le *Potentilla nevadensis* et *cretica*, le *Salvia slavea*, la *Saponaria officinalis*, le *Sedum album*, le *Spiræa Douglasii*, et le *Zephyranthes candida*.

Les plantes suivantes portaient encore des fleurs au mois de novembre 1862 : l'*Arabis caucasica*, l'*Alyssum flavum*, le *Canlendula stillata*, le *Cephalaria transylvatica*, le *Cerinthe minor*, l'*Hieracium aurantiacum*, l'*Hypericum calycinum*, les *Potentilla nevadensis* et *cretica*, le *Saponaria officinalis* et le *Sedum album*.

Anvers, 21 octobre 1862.

(Rigouts-Verbert.)

MÉMOIRE HISTORIQUE

SUR

LA GUERRE DE MAXIMILIEN,

ROI DES ROMAINS,

CONTRE LES VILLES DE FLANDRE

(1482-1488);

PAR

M. J.-J. DE SMET,

CHANOINE DE LA CATHÉDRALE DE SAINT-BAVON, A GAND.

—

(Lu à la séance du 6 février 1865.)

Seditione, dolis, scelere, atque libidine et ira,
Iliacos intra muros peccatur et extra.
(Hor., *Ép. ad Loll.*)

MÉMOIRE HISTORIQUE

SUR

LA GUERRE DE MAXIMILIEN,

ROI DES ROMAINS,

CONTRE LES VILLES DE FLANDRE

(1482-1488).

Ce fut un événement bien funeste pour les Pays-Bas, et surtout pour le comté de Flandre, que la mort prématurée et douloureuse de la duchesse Marie de Bourgogne, non-seulement parce qu'elle était généralement aimée, mais bien plus parce que, enlevée à la fleur de l'âge, elle ne laissait que de jeunes enfants et un époux étranger au pays : ce qui devait soulever des questions dangereuses et amena, en effet, une guerre civile des plus déplorables.

Cet épisode de notre histoire, bien qu'il ne soit pas dénué d'importance, ne nous semble pas avoir été assez étudié par nos écrivains. Les mémoires contemporains sont en petit nombre et ne se donnent aucune peine pour voiler leur partialité en faveur de la cause autrichienne. Pontus de Huyter, qui écrivait un siècle plus tard, recueillit des matériaux de même genre dans la Bourgogne et la Franche-Comté, qui auraient dû lui inspirer plus de défiance [1]. Dans les temps plus modernes, les compilateurs de la grande *Chronyke van Vlaenderen* [2] se montrent plus vivement passionnés contre les

[1] *Rer. Austr.*, lib. II et III.

[2] Par C. Vernimmen, Blootacker et Wydts.

États de Flandre, et M. Dewez, dont le récit est assez développé, a si peu examiné les causes de ce regrettable conflit, qu'il n'articule pas même le mot essentiel de *manbournie*, et semble tout attribuer au refus de la tutelle [1]. Il n'a eu apparemment aucune connaissance des traités intervenus que Dumont nous a conservés dans son *Corps diplomatique du droit des gens*. Notre savant confrère, M. le baron Kervyn, a été plus juste. Excepté lui, tous ces auteurs n'ont trouvé que des paroles de blâme pour les trois membres de Flandre en cette occasion, et semblent persuadés qu'ils n'avaient aucun motif plausible pour s'opposer aux prétentions du futur roi des Romains. Tout en avouant que les villes de Gand et de Bruges eurent des torts dans ces tristes contestations, nous sommes porté à croire que ce n'était pas sans raison qu'elles refusaient la manbournie, c'est-à-dire le gouvernement du pays, au prince allemand. Le président Wielant, à cette époque déjà conseiller au conseil de Flandre, et honoré sous trois règnes de la confiance de ses souverains, nous paraît avoir ici une autorité hors ligne : or, il est beaucoup moins hostile aux villes de Flandre que les auteurs que nous venons de citer [2]. Il en est de même de Despars, écrivant à Bruges et racontant les faits jour par jour, ainsi que de l'*Excellente Chronycke* d'A. Die Smet, imprimée dans la première moitié du seizième siècle.

De Huyter ou Huterus parle de la haine que les Gantois portaient à Maximilien, ses conseillers et ses favoris [3], sans aucune cause ou raison; mais cette accusation ne nous paraît pas bien prouvée, et en tous cas elle est fort exagérée. Non-seulement les Gantois, mais les États de Flandre étaient mécontents du duc et de ses courtisans, surtout à cause du meurtre du sire Jean de Dadizeele, souverain bailli de Flandre et grand bailli de Gand, qui avait rendu d'éminents services à ses princes comme à son pays, et qu'on avait assassiné par ordre des principaux conseillers de Maximilien [4] : « Très-hault prince, » dirent à celui-ci les États, vous avez tenu à l'entour de vous ceulx qui ont

[1] *Hist. génér.*, tome V, pp. 161 et suiv.

[2] *Corpus chron. Flandr.*, tome IV, pp. 334 et suiv.

[3] *Odium sine causa ac ratione contra Maximilianum, ejus consiliarios ac familiares, animis Gandenses ingens conceperant.* Rerum Austr., lib. II, cap. I.

[4] Au mois d'octobre 1481.

» murdri messire Jehan, seigneur de Dadiselle, et encore les tenez et souf-
» frez en votre subjection, contre Dieu et raison, qui est grand pitié qu'on
» ne faict correction de tels cas. » Mais peut-on inférer de là que les Gantois étaient animés contre le prince d'une haine implacable, *odium ingens*, et d'une haine sans cause et sans motif ?

Mieux vaut sans doute examiner les causes réelles du conflit.

Personne ne songeait à contester au duc Philippe l'héritage de sa mère ; mais il était mineur et devait l'être encore longtemps [1]. A qui fallait-il confier la *tutelle* et la *manbournie* de l'enfant ? De hautes convenances et la justice même commandaient d'investir le duc Maximilien de la tutelle, et les libertés du pays ne couraient par là aucun risque ; mais pouvait-on de même lui abandonner la manbournie et remettre ainsi entre les mains d'un étranger tout le gouvernement des Pays-Bas ?

La question était pour nos pères aussi nouvelle qu'importante.

Nos constitutions modernes n'ont pas été sans prévoir une telle éventualité et sans prendre des mesures pour parer aux conséquences fâcheuses qu'elle peut entraîner. De là vient que dans plusieurs États les femmes sont exclues de la succession au trône, et qu'en d'autres, où cette exclusion n'est pas établie, l'époux de la reine n'a légalement aucun pouvoir politique. Ailleurs encore, des bornes sont posées à son influence, ou les conventions matrimoniales ont des réserves qui garantissent le *self-government* à la nation. Ainsi quand, soixante ans après la mort de Marie de Bourgogne, le prince d'Espagne épousa Marie Tudor, le chancelier d'Angleterre dressa l'acte de mariage, où il est stipulé entre autres points que des étrangers ne seraient admissibles à aucun emploi, que les enfants à naître de l'union contractée ne sortiraient pas du pays sans le consentement des lords, et que, si la reine venait à mourir avant son mari, Philippe ne pourrait prétendre à aucun droit de participer au gouvernement du pays [2].

Les *Keures* de nos provinces et de nos villes n'avaient pas traité cette

[1] Le jeune prince n'avait que quatre ans.

[2] *Foreigners were to be excluded from office... In case of mary's death, Philip was not to claim the right of taking part in the government of the country.* Prescott, *Hist. of Phil. II*, tom. I, p. 83.

question, et les différentes *Joyeuses entrées* du Brabant n'en parlent pas davantage, bien que le cas ne fût pas difficile à prévoir. A la vérité, l'histoire de Flandre présentait un antécédent, mais avec de notables différences et tout à fait défavorables aux prétentions de Maximilien. Le comte Baudouin de Mons, ne laissant à sa mort que deux fils mineurs, avait nommé tuteur et manbour de ses enfants son frère, Robert le Frison qui, même sans cet acte, devait l'être de droit en qualité de plus prochain agnat et de parent d'épée des jeunes comtes. Mais la comtesse douairière, Richilde, usurpa la régence et, sans tenir aucun compte de l'antagonisme des races, elle s'entoura de conseillers wallons, français et anglais, multipliant les impôts pour rassasier leur cupidité. On sait quelles furent les suites de cette conduite imprudente autant qu'illégale, dont le souvenir ne fut pas sans influence apparemment sur les dispositions des Flamands envers Maximilien.

Il ne faut pas croire toutefois qu'on n'avait pris aucune précaution contre les prétentions que pouvait élever le duc. Les stipulations matrimoniales portaient expressément que si l'un des conjoints venait à mourir en laissant des enfants, ceux-ci succéderaient aux seigneuries, droits et biens tant meubles qu'immeubles, sans que le survivant pût former aucune prétention de propriété ou d'usufruit [1]. Les annalistes contemporains ont ignoré, paraît-il, cette clause essentielle du contrat.

Les provinces de Hollande et de Zélande, de Namur et de Hainaut, accordèrent toutefois sans hésiter au duc la manbournie comme la tutelle de son fils. Celle de Brabant fut moins prompte et plusieurs membres de la noblesse s'y montrèrent fort opposés; quelques-uns même, parmi lesquels on cite le sire de Heetvelde, bourgmestre extérieur d'Anvers [2] et un secrétaire de cette ville, furent emprisonnés et mis à mort à Vilvorde [3]. A Bruxelles et à Louvain il fallut de même recourir aux moyens de violence, mais le parti autrichien finit par l'emporter [4].

Mais c'est en Flandre que l'opposition fut la plus vive et parvint à triom-

[1] Dumont, tom. III, 2me part., p. 10.
[2] Il se nommait Jean Coegelsone.
[3] *Rerum. Austr.*, lib. II, cap. II.
[4] Despars, *Chron. van Vlaend.*, IVde deel, bl. 222.

pher. Le pensionnaire de Gand, Guillaume Rym, que Huterus traite, sans aucune preuve, d'homme astucieux et d'un mauvais caractère, en lui associant, avec moins de justice encore, de communs artisans [1], fit comprendre à ses concitoyens que si l'on accordait au duc tous les pouvoirs qu'il réclamait, on courait le risque de voir les richesses du pays passer dans l'indigente Autriche, et les emplois devenir la proie des courtisans étrangers de Maximilien. Ce langage, qui n'était pas sans fondement, devait faire une impression profonde dans une contrée où l'habitant d'une province était inhabile à posséder un office dans une autre, et où tout le monde était hostile à l'intervention de l'étranger dans les affaires publiques [2].

Certes, si l'on eût accordé à Maximilien la régence sans condition, on aurait eu en perspective, comme la suite le prouva, l'entrée d'une foule de *lanzknects* et de *swartzreiters* dans l'armée, et de quelques seigneurs de Rauenstein ou de Katzenellenbogen dans les conseils du prince. Mais ne pouvait-on pas obtenir des garanties contre de pareils empiétements, faire nommer un conseil exclusivement composé de nationaux, et stipuler que les indigènes seraient seuls admis aux emplois civils et militaires? Maximilien, qui au fond était bon prince, aurait fini peut-être par accepter ces conditions, mais rien ne prouve qu'on les lui ait proposées sérieusement. Treize chevaliers de la Toison d'or se réunirent à Termonde pour aviser aux moyens de conserver la paix, mais on s'y contenta de déclarer que Maximilien devait renoncer aux titres et armoiries qu'il portait sans droit. Les députés gantois en revinrent mécontents [3]. On offrit au duc, dit le chroniqueur Despars [4], de lui déférer la régence, mais provisoirement.

L'éducation politique du pays était encore peu avancée.

Les États de Flandre s'étant assemblés à Gand, Maximilien s'y rendit pour faire valoir ses droits à une réception solennelle dans la capitale, en qualité de tuteur et de manbour de son fils (3 mai 1482). On lui répondit

[1] Il appartenait à une famille patricienne de Gand qui possédait, quelques années plus tard, la seigneurie de Bellem et d'autres domaines. Maximilien lui-même lui donne le titre de chevalier.

[2] Basnage, *Annal. des Prov.-Unies*, tom. I, p. 3.

[3] *Rerum Austr.*, lib. II, cap. IV.

[4] IV^de deel, bl. 221.

que l'assemblée était prête à le reconnaître pour tel, mais seulement jusqu'à révocation et aussi longtemps qu'il paraîtrait bon, utile et convenable aux États; à condition qu'il prêterait serment de ne rien faire sans leur connaissance et consentement, de révoquer et d'annuler expressément tout ce qu'on pourrait attenter, de quelque manière que ce fût, contrairement à leurs intentions. Le duc lui-même était jeune, disait-on, et il prêtait trop l'oreille à des gens dont sa cour était remplie et qui, au grand déplaisir du pays, n'avaient à cœur que leurs propres intérêts et s'enrichissaient en levant, sous prétexte de guerre, des aides et des impôts extraordinaires [1]. C'était là un refus, qui, pour la tutelle du moins, était aussi outrageant pour le duc qu'inutile pour la sauvegarde des libertés publiques. Maximilien s'en montra, et avec raison, vivement irrité. D'après le conseil du comte de Chimai, il se présenta ensuite à Bruges, à Ypres et à Lille, pour obtenir de ces villes ce que ne lui avaient pas accordé les États du comté; mais pouvaient-elles renier leurs mandataires? Cette démarche n'eut donc et ne pouvait avoir d'autre résultat qu'un nouvel affront pour le duc.

Il crut alors qu'il ne lui restait qu'à dissimuler et consentit à tout ce que les États de Flandre avait statué à Gand [2], même au traité de paix conclu avec la France, malgré son opposition, et aux fiançailles de sa fille Marguerite avec le Dauphin, qui en formaient un article [3]. Appelé peu après devant Utrecht, dont les habitants de la faction des Hoeks avaient chassé leur évêque, David de Bourgogne, et faisaient une rude guerre à Maximilien, il confirma ses concessions et permit que la province de Flandre fût gouvernée, au nom de son fils Philippe, par ceux du sang et par un conseil dont étaient membres, d'après un historien zélandais [4], Louis de Bourbon, évêque de Liége, Wolfart de Borselen, seigneur de Tervueren, Philippe de Bourgogne, seigneur de Beveren [5], et Philippe de Clèves, seigneur de Ravestein.

[1] Despars, *ut supra.*

[2] Wielant, *Antiquités de Flandre*, dans le *Corpus chron. Flandr.*, tom. IV, p. 528.

[3] Cette paix, datée du 23 décembre 1482, a été publiée par Dumont, *Corps diplomatique du droit des gens*, tom. III, 2e part., p. 100; et on en trouve le texte flamand dans le *Belg. musaeum*, IXste deel, bl. 28.

[4] Regersb., *Chronick van Zeeland*, IIde deel, bl. 505.

[5] Fils du grand bâtard de Bourgogne.

Mais Despars substitue à l'évêque de Liége le comte de Romont, de la maison de Savoie, et son opinion est la plus sûre. Peut-être avait-on songé à Louis de Bourbon, uni aux ducs de Bourgogne par les liens du sang, mais le malheureux prélat venait d'être assassiné par Guillaume de Lamarck, surnommé le sanglier des Ardennes.

On serait assez tenté, au premier abord, de blâmer la condescendance que le duc montra dans cette occasion : quel motif pouvait le contraindre à dissimuler ainsi et à jurer cette paix d'Arras, conclue sans lui et malgré lui [1]? N'était-ce pas là couvrir d'une sorte de légalité les prétentions des Flamands et les affermir dans leur opposition? Ces inconvénients n'avaient pas échappé à l'archiduc [2] et à ses conseillers, mais indépendamment des hostilités de la part d'un parti puissant qui l'appelaient en Hollande, le prince avait sur les bras une guerre avec le pays de Liége insurgé; il ne pouvait compter que bien faiblement sur l'assistance du Brabant et des autres provinces, qui s'étaient soumises à son autorité, mais d'assez mauvaise grâce, et une rupture avec la France paraissait imminente : la prudence faisait donc un devoir de ne pas précipiter les choses.

Aussi avait-il limité ses concessions aux États de Flandre *jusqu'à son retour,* espérant bien avoir bon marché de leurs exigences, s'il revenait avec l'ascendant que donne la victoire. Son expédition réussit parfaitement [3], et aussitôt qu'il eut rétabli l'évêque, David de Bourgogne, dans sa seigneurie, il revint dans le Brabant et révoqua tous les pouvoirs qu'il avait accordés à Gand pour le gouvernement de la Flandre.

Dès le 15 octobre, les conseillers du jeune duc et les trois membres du comté répondirent à cet acte par une lettre longue et motivée, où ils déniaient, en vertu des conventions matrimoniales, tout droit de manbournie à Maximilien, qu'ils accusaient d'avoir usurpé le titre et les armes du comte de Flandre, d'avoir chargé le pays d'impôts et d'avoir aliéné ou engagé, par les

[1] On cédait comme dot de la princesse l'Artois, le comté de Bourgogne et plusieurs seigneuries importantes. Maximilien s'opposait avec raison à un tel démembrement du pays.

[2] Il ne prit ce titre qu'à cette époque, bien que les lettres patentes portant érection du duché d'Autriche en archiduché datent de 1553. Hergott, *Geneal. Hasb.*, tom. I, p. 226.

[3] Utrecht capitula le 7 septembre 1483.

conseils de son entourage, les biens meubles et les joyaux de Marie de Bourgogne, qui ne pouvaient appartenir qu'à ses enfants. Ils se défendaient en même temps avec vivacité contre les reproches que l'archiduc faisait à leur administration, et terminaient leur manifeste en proposant de soumettre la cause au jugement du roi de France, suzerain du comté, devant la cour du parlement ou des pairs.

Huit jours après, Maximilien répliqua par un manifeste daté de Bois-le-Duc, où des récriminations aigres et peu justifiées tiennent la place de raisons. Il parle avec arrogance et mépris des trois membres de Flandre, et dénie à leurs mandataires le droit, qu'on leur avait toujours reconnu, de parler au nom du pays. Il n'est pas besoin, dit-il en terminant, de recourir à l'arbitrage du roi de France : il saura bien par d'autres voies contraindre les Flamands à lui rendre justice.

Les conseillers de l'archiduc s'étaient bien trompés, s'ils avaient cru que ces allégations mensongères et ces menaces resteraient sans réponse. Elle fut noble, mais pleine d'une juste indignation, et Maximilien, qui en craignait l'effet sur le peuple, si on lui donnait quelque publicité, s'efforça d'en amortir l'effet par une nouvelle déclaration qui ne fit qu'envenimer la querelle [1].

Le gouvernement français y intervint sans succès. L'archiduc comptait sur un complot qui se tramait à Bruges en sa faveur, mais une circonstance toute fortuite le fit avorter et ses auteurs, parmi lesquels on comptait plusieurs magistrats, furent mis à mort ou bannis. Pleins de confiance dans une armée nombreuse et aguerrie, les conseillers de Maximilien ne s'en montrèrent pas moins décidés à contraindre par la force les Flamands à se soumettre. Le succès paraissait d'autant plus assuré qu'on savait que les Gantois étaient pour le moment hors d'état de soutenir une guerre à laquelle ils ne s'attendaient pas.

On n'en crut pas moins devoir unir la ruse à la force pour s'emparer des villes voisines de Gand. Tandis que l'archiduc se tenait de sa personne dans une embuscade près de Termonde, des soldats éprouvés s'acheminèrent vers cette

[1] La plupart de ces lettres se trouvent manuscrites à la bibliothèque de Gand.

ville travestis en moines ou en religieux, et suivis par une autre troupe de gens d'armes déguisés en marchands [1]. Cette suite atteignit au point du jour une porte, dont la garde était confiée à des partisans de Maximilien, et qui s'ouvrit aussitôt qu'on vit paraître les premières voitures. On donna le signal convenu. Les soldats jetèrent leur costume d'emprunt pour sauter sur leurs armes, et Maximilien, à la tête de huit cents cavaliers, accourut à toute bride. Un combat assez vif ensanglanta les rues et beaucoup de bourgeois y trouvèrent la mort [2]; mais l'archiduc n'y perdit qu'un seul homme, le fils du comte de Hornes, jeune guerrier de beaucoup d'espérance. Après quelques heures de lutte, la ville se soumit et revint à ses occupations ordinaires : elle reçut une forte garnison sous le commandement du sire de Melun.

Il n'était pas moins important, et même plus encore, de s'assurer d'Audenarde, où commandait pour les Gantois Pierre Mettenyc, qui paraissait disposé à se défendre vaillamment; mais Gauthier Van Reckem, son lieutenant, n'était pas doué d'un caractère aussi loyal et se laissa séduire si aisément, que l'archiduc lui-même montra peu de confiance dans un si prompt dévouement. Tout réussit cependant à souhait : le duc fut mis en possession de la ville, surprit Mettenyc dans son lit et l'envoya comme prisonnier dans le Hainaut. Van Reckem obtint pour prix de sa trahison le gouvernement d'Audenarde (5 janvier 1485).

En apprenant ces faits étranges, les états de Flandre s'assemblèrent de nouveau à Gand et, mieux avisés cette fois, ils fondèrent particulièrement leur opposition sur les dangers réels et graves d'abandonner la manbournie à l'étranger [3]. Ils résolurent de repousser la force par la force, et comme les troupes de Gand, que commandait le comte de Romant, étaient fort inférieures à celles dont l'archiduc pouvait disposer, ils se décidèrent à accepter le

[1] O. De la Marche, liv. II, ch. XI.

[2] Les écrivains de Termonde et d'Audenarde se font gloire ordinairement de la résistance de ces villes à celle de Gand, mais il serait aisé de prouver que leurs bourgeois étaient au contraire favorables à la capitale, et que la résistance n'était due qu'à la garnison étrangère à Termonde et à Audenarde, aux chevaliers *leliaerts* qui y dominaient. C'est comme si les habitants de Dantzig et de Hambourg se vantaient d'avoir, en 1813, tenu en échec les armées de la coalition.

[3] Wielant, *Antiquités de Flandre*, p. 529.

secours que Philippe de Crèvecœur, sire des Querdes et des Cordes [1], leur présentait au nom du nouveau roi Charles VIII, ou plutôt de la dame de Beaujeu, régente de France pendant sa minorité [2].

Si c'était un tort grave de ne pas avoir recours à tous les moyens de conciliation, avant de rejeter le pays dans les maux de la guerre civile, c'en était un autre, bien plus grave encore, de réclamer l'assistance d'un voisin puissant, toujours hostile aux franchises et aux libertés de la Flandre, jaloux de sa prospérité et à l'affût du moindre prétexte pour la réunir à sa couronne. On avait d'ailleurs mauvaise grâce de montrer une crainte si vive de l'étranger, quand on recherchait avec tant d'empressement l'alliance des Français. Ici encore le sens politique semblait être en défaut.

Le peuple le sentit mieux que ses chefs, et quand le seigneur de Querdes vint à Gand avec son corps d'armée, la ville ne cacha point son mécontentement, d'autant plus vif, qu'on avait répandu le bruit que le général français n'était entré dans la ville que pour avoir l'occasion d'enlever le jeune archiduc et de le conduire en France. Ces sentiments grandirent encore après une escarmouche qui eut lieu sous les murs de Gand, et qui faillit livrer la ville à Maximilien, parce que les auxiliaires s'y conduisirent mal et laissèrent les bourgeois, trop peu nombreux, soutenir tout le poids du combat. Il n'y eut qu'une voix pour crier à la trahison, et Crèvecœur, qui s'en aperçut, craignit qu'on ne lui fît un mauvais parti, et, sans dire adieu à personne, il se hâta de quitter la ville et de conduire ses forces à Tournai [3]. Abandonné par les Wallons, qui depuis longtemps n'avaient reçu aucune solde, l'archiduc dut battre en retraite à son tour et se contenter de livrer au pillage tout le pays de Waes, pour satisfaire la rapacité de ses mercenaires allemands.

Pontus Huterus se bat les flancs dans une amplification dont les détails sont peu exacts [4], pour établir qu'en cette occasion les provinces et les villes prirent les armes les unes contre les autres, et que le bas peuple se souleva contre la

[1] L'auteur de *Quentin Durward* emprunte à sa palette les couleurs les plus brillantes pour peindre ce transfuge de la cour de Bourgogne, mais

Dans un roman frivole aisément tout s'excuse.

[2] Louis XI était mort au Plessis-lès-Tours, le 30 août 1483.

[3] De la Marche, liv. II, ch. XI.

[4] *Rer. Austr.*, lib. II, cap. III.

noblesse. Cette dernière assertion nous semble bien difficile à justifier. Louis de Bruges, seigneur de Gruthuuse, se trouvait à la tête du parti opposé aux prétentions de Maximilien dans sa ville natale, Guillaume Rym, Louis de Masmines, les sires de Rassegem et de Liedekerke, le seigneur de Ter Vere et le comte de Romont, dans celle de Gand : ce ne sont pas là d'obscurs plébéiens. Déjà nous avons vu décapiter le seigneur de Heetvelde, qui avait embrassé le même parti; et quand l'archiduc demanda du secours à Bruxelles contre un détachement de Gantois qui s'étaient avancés jusqu'à Assche, il essuya un refus formel de la part des magistrats, et obtint au contraire l'assentiment du peuple.

Ce serait beaucoup plus s'approcher de la vérité, si l'on affirmait que l'aristocratie et la haute bourgeoisie poussèrent le peuple flamand à cette guerre.

Elle offrait cependant peu de chances de succès : la Flandre gallicante paraissait craindre l'intervention des Français bien plus que la régence de Maximilien; Bruges et Ypres se bornaient à des démonstrations peu efficaces, et Crèvecœur promettait et intriguait plus qu'il ne combattait. Tout le poids de la lutte retombait sur les Gantois, qui d'ailleurs n'étaient pas entièrement unis. Grammont et Ninove, emportées de vive force par les généraux de Maximilien, souffrirent horriblement, et Tamise, prise d'assaut par l'archiduc lui-même, subit les traitements les plus barbares [1], tandis que des corps d'armée sortis de Gand étaient battus, mais sans perdre beaucoup de monde, à Laere [2], à Peteghem et Zele. Les Gantois à leur tour remportèrent quelques légers avantages; mais le résultat le plus clair de ces tristes hostilités, c'était la stagnation du commerce, la ruine de l'agriculture et la destruction d'un nombre de villes et bourgades : Guillaume le Breton avait écrit au douzième siècle :

> Flandria, gens opibus variis et rebus abundans,
> Gens intestinis sibimet damnosa ruinis [3].

[1] Despars, IV^de deel, bl. 249.

[2] L'éditeur de Despars voit là le village de *Laerne*, mais peut-on comprendre que la garnison d'Audenarde, qui livra le combat, se soit hasardée à s'éloigner jusqu'à cette commune située au delà de Gand? Nous pensons qu'il s'agit d'*Edelare*.

[3] Ce peuple de Flandre, qui jouit en abondance de trésors et de biens de tout genre, se nuit à lui-même par ses discordes intestines. *Philip.*, lib. II, v. 134 et 135.

Ce portrait se trouve vrai encore, et depuis on a pu malheureusement, à différentes époques, y reconnaître la Belgique entière.

Cependant le commun peuple se dégoûtait d'une guerre sans issue, dont il n'appréciait pas les motifs, et d'autant plus qu'il était fort mécontent de l'administration de ceux du sang, comme on appelait les seigneurs qui composaient le conseil de régence. Ce mécontentement, plus vif et plus général tous les jours, n'attendait qu'un signal pour éclater, et il fut donné bientôt. Les nombreux partisans que l'archiduc avait conservés à Bruges s'étaient entendus avec quelques chefs de ses troupes, pour rétablir son autorité dans leur ville. Pendant une longue procession ordonnée à leur prière, pour obtenir du ciel la fin des troubles et la paix de l'État, le comte Englebert de Nassau, les seigneurs de Beveren et de Falkenstein, suivis d'un corps très-considérable de gens d'armes d'élite, entrèrent dans la ville, sans éprouver aucune résistance. Ils se mirent en bataille devant l'hôtel de ville et une foule immense, accourue de toutes parts, accueillit avec de vifs applaudissements la proposition que fit le chancelier de Brabant de reconnaître la tutelle et la régence de Maximilien pendant la minorité de son fils [1].

On lut ensuite les autres conditions de la paix : le consentement de la ville à un subside suffisant au prince pour solder les dépenses de la guerre, qui serait réglé plus tard par les trois membres de Flandre et le payement des arrérages dus à la duchesse Marguerite d'Yorck, veuve de Charles le Téméraire, sur les revenus de son douaire. A ce prix, on obtenait une amnistie générale, dont cependant étaient exclues dix personnes et à leur tête le sire de la Gruthuuse, qui fut sur-le-champ conduit à la prison du *steen* et, sur le refus du seigneur de Beveren, le seigneur d'Uitkerke le remplaça en qualité de capitaine de la ville [2].

A ces nouvelles, la ville de l'Écluse ouvrit ses portes à l'archiduc, qui se trouvait de sa personne avec une flottille dans le Zwin. Heureux de ce nouveau succès, il s'empressa de venir à Bruges, où il fut reçu avec de grandes démonstrations d'allégresse par le peuple et complimenté par le chancelier de Brabant, dont l'intervention avait été si efficace.

[1] Despars, IV^de^ deel, bl. 252.

[2] *Ibid.*, bl. 257.

Peu de jours après, les nouveaux chefs de Bruges envoyèrent en secret à Gand leur pensionnaire Jean Roegiers, pour s'entendre avec Mathias Speyaert [1], sur les moyens à employer pour amener à leur tour les Gantois à reconnaître le droit que prétendait l'archiduc de gérer la manbournie comme la tutelle de ses enfants. Leurs mesures réussirent sans peine : le peuple se souleva à la voix de Speyaert qu'il aimait, le 7 juin 1485, et emprisonna Adr. Villain, seigneur de Rasseghem, Daniel Onredenc, premier échevin de la *keure*, Jacques Heyman, troisième échevin. Le lendemain on incarcéra encore Eustache Schietecatte, chef doyen, Guillaume Rym, Jean Coppenole et plusieurs autres. Peu de jours après, Rym et Onredenc furent décapités sur l'échafaud, mais cette sanglante exécution causa une émeute qui faillit prendre de vastes proportions, et qu'on ne put apaiser qu'en mettant en liberté les autres prisonniers.

On crut donc qu'il fallait se hâter de recourir à Maximilien lui-même pour prévenir de nouveaux troubles. L'abbé de Saint-Pierre au mont Blandin, Philippe de Bourgogne, seigneur de Beveren, Paul de Baenst, président du conseil de Flandre, Richard Wtenhove et Adrien de Raveschoot, chevalier d'un âge avancé, mais doué d'une sagesse peu commune, furent députés à Bruges pour traiter de la paix avec l'archiduc, conjointement avec les délégués de Bruges et d'Ypres. Tous étaient animés de sentiments si conciliants, qu'après quatre jours de conférence, la paix générale fut conclue (le 23 juin) aux conditions suivantes [2] :

« I. Les membres du comté de Flandre seront tenus de recevoir et d'inaugurer Maximilien en qualité de tuteur et de manbour de son fils mineur, leur prince naturel, aussitôt que l'archiduc leur aura prêté comme tel le serment usité.

» II. Ils seront de même tenus de remettre à l'archiduc son fils susdit hors des portes de Gand, le jour qu'il lui plaira de s'y rendre pour prêter serment dans cette ville comme tuteur et manbour ; et pour la sûreté de sa personne, il pourra y faire son entrée avec le corps de troupes qu'il jugera convenable à sa dignité.

[1] Selon Wielant, il était tanneur et selon Despars hôtelier et courtier.

[2] Dumont, *Corps diplomatique du droit des gens*, tom. III, part. 2, p. 145.

» III. De plus, les trois membres du comté s'obligeront à payer à l'archiduc, pour les armements qu'il a dû faire, telle somme de deniers que lui-même et son conseil jugeront plus tard nécessaire, la moitié de suite et le reste par annuités à parties égales.

» Ils auront à payer de même une somme raisonnable à dame Marguerite d'Yorck, douairière de Bourgogne, pour les arrérages de son douaire.

» IV. Si quelque article de cette paix avait besoin d'une interprétation plus large, elle ne pourra se faire que par l'archiduc et ceux de son conseil.

» V. Tous ceux des deux partis qui auront été bannis par suite des séditions et discordes précédentes pourront rentrer librement dans leurs foyers.

» VI. L'archiduc confirmera aussi et confirme par cette paix les octrois, grâces, pardons, provisions et autres actes de justice, faits et expédiés de commun accord par ceux du pays de Flandre, pendant les querelles et dissensions susdites, au nom de son fils mineur, le duc Philippe; sauf toutefois le droit de chacun [1].

» Il confirmera et confirme de même tous les droits et priviléges, toutes les coutumes et libertés du pays de Flandre, tant en général qu'en particulier. Ainsi toutes les villes du comté reprendront leur constitution ancienne et primitive, chacune sous le même ressort qu'avant cette guerre. »

Moyennant ces conditions et conventions, il sera accordé à chacun pardon et amnistie générale de toutes choses faites pendant ces troubles contre Maximilien ou son fils, à l'exception de quelques personnes [2].

Ce traité de réconciliation fut promulgué avec beaucoup de pompe, à Bruges, le 23 juin [3], mais les fêtes qui eurent lieu à cette occasion furent

[1] *Saulf le droict de luy et de son filz et de chascun*, dit Wielant.

[2] Louis de Bruges, le comte de Romont et le seigneur de Ter Vere, chevaliers de la Toison d'or; Louis de Masmines, Jean Coppenolle, Gilles Van den Broecke, Eustache Schietecatte, Jean et Gaspar Heyman, du quartier de Gand; Guil. Morel, Jean Van Riebeke, Pierre Van den Heede; Ant. Labbé, Sohier Van Loo, Jean d'Oostcamp, Louis Stelin, Jean de Keyt, le vieux, et François Van Bassevelde, du quartier de Bruges; Nicolas Marteel, du Franc; Gaspar Van Premesques, Fr. Vanderpoorten et Tristan Van Belle, d'Ypres.

[3] Despars, IV, 262.

bientôt attristées par l'exécution sanglante de quelques-uns de ceux qu'on avait exclus de l'amnistie.

Peu de jours après, Maximilien se mit en marche sur Gand à la tête d'un corps d'armée qu'Olivier de la Marche, qui s'y trouvait, porte à trois mille hommes [1], tandis que P. Huterus y compte cinq mille Allemands, et Despars, auteur contemporain et instruit, dix-huit mille combattants. Parvenu au village de Mariakerke, le prince rencontra au milieu des champs la députation des États qui venait lui présenter son jeune fils, qu'il n'avait pas vu depuis plusieurs années et qu'il tint longtemps embrassé. Après cette touchante entrevue, les deux archiducs firent avec les troupes leur entrée à Gand, et le lendemain (8 juillet), Maximilien prêta le serment ordinaire comme manbour, d'abord à l'église de l'abbaye de Saint-Pierre et ensuite à celle de Saint-Jean. Le peuple, à son tour, lui prêta serment au grand marché. A peine cette inauguration avait eu lieu que l'archiduc fit appeler Math. Speyaert, le remercia amicalement des services qu'il venait de lui rendre et l'arma chevalier d'un coup de sa botte, à défaut de l'épée qu'on venait de lui ôter [2]. Il accorda de plus au nouveau chevalier une pension pour qu'il pût soutenir son rang, et lui mit autour du cou une lourde chaîne en or qu'il avait portée lui-même. Ce dernier cadeau embarrassa singulièrement Speyaert et lui attira autant de moqueries que de regards; « car » dit un chroniqueur, « cette chaîne lui allait comme une chemise de soie à une vache. »

Mais la vue des troupes nombreuses d'Allemands et de Suisses qui accompagnaient l'archiduc, et surtout les désordres qu'ils se permirent, donnèrent lieu à de nouveaux troubles. « Chassez vous-même les brigands que vous » avez amenés, criait-on au prince, ou nous seuls nous saurons bien nous » en défaire. » Le tumulte s'augmenta beaucoup quand on apprit que trois de ces soldats étrangers, emprisonnés par ordre du magistrat, pour s'être portés aux derniers outrages envers la servante de leur hôte, avaient été délivrés par leurs camarades et qu'ainsi l'attentat était demeuré impuni. Quelques métiers prirent les armes et Maximilien, qui s'était retiré à la cour du prince, craignit

[1] Liv. II, ch. XII.
[2] Despars, IV, 268.

de nouvelles collisions. Les magistrats parvinrent cependant à rétablir la tranquillité, et quelques-uns des insurgés payèrent encore de leur tête cette courte échauffourée.

NOUVELLE GUERRE.

« A l'avénement du roi Philippe II, dit son historien [1], le peuple belge » sentit avec amertume que le sceptre du pays venait de passer dans les » mains d'un étranger. » A la vue des excès commis par les soldats allemands et demeurés impunis, un sentiment semblable s'empara des Gantois et devint plus vif tous les jours par suite des procès sans cesse renaissants auxquels donnait lieu la clause réservatrice : *sauf en tout nostre droict, de nostre filz et de chascun*, qui ouvrait une large porte à l'arbitraire. On se rappela les prédictions de Guillaume Rym.

Ce mécontentement se communiqua bientôt à toute la Flandre, où tout le monde se plaignait, dit Wielant [2], que la paix publique était incessamment méconnue, et qui s'étendit bien davantage, quand l'archiduc, qui venait d'être couronné roi des Romains [3], recommença en Picardie les hostilités contre la France, d'où devaient résulter de grands dommages pour le commerce des deux pays (1487). La première tentative réussit mal et Maximilien faillit être livré aux Français par ses soldats mercenaires, gagnés par l'argent de Crèvecœur. Mais la situation devint beaucoup plus grave, quand le Petit Salazar, capitaine biscayen au service de l'archiduc, se fut rendu maître de Térouane. Le roi Charles VIII montra la plus vive indignation et l'opposition flamande put compter sur les secours efficaces de la France [4].

La commune de Gand, qui avait adhéré de mauvaise grâce au traité de Bruges, n'était que trop disposée à reprendre les armes, et les conseils du

[1] *The people of the Netherlands felt with bitterness that the sceptre of their country had passed into the hands of a foreigner.* HIST. OF THE REIGN OF PHILIP. II. Book II, ch. II.

[2] *Antiq. de Flandre*, p. 330.

[3] Élu roi des Romains à Francfort, le 16 février 1486, il avait été consacré comme tel le 10 avril suivant à Aix-la-Chapelle.

[4] P. Hut., *Rer. Austr.*, lib. I.

prince semblaient vouloir une explosion nouvelle. Ils n'ignoraient pas combien une guerre avec la France était impopulaire en Flandre, et n'en suggérèrent pas moins au roi des Romains de demander aux trois membres du comté [1] un subside annuel de neuf cent mille couronnes d'or, pendant trois années consécutives, pour combattre les Français. De plus, ils donnèrent à une nouvelle monnaie un cours plus élevé que sa valeur réelle. Une assemblée des membres eut lieu pour en délibérer, d'abord à Gand, mais sans résultat aucun, et ensuite à Termonde, où l'on résolut de représenter à Maximilien que les finances du comté étaient trop épuisées pour qu'on pût accorder l'aide demandée, et qu'on était d'ailleurs fermement décidé à ne pas rompre la paix d'Arras [2]. Quant au cours de la monnaie, qui regardait toutes les provinces, il fallait, disait-on, réserver cette question pour leur prochaine assemblée générale.

Cependant les Français ne demeuraient pas oisifs : au moyen des intelligences qu'il avait conservées dans Térouane, Crèvecœur reprit cette ville, ce que le comte de Nassau, général de Maximilien, ne put apprendre sans en être vivement affecté. Pour prendre sa revanche, il réunit des forces considérables et se porta sur Béthune, dont il espérait bien s'emparer par un coup de main. Mais son attente fut cruellement trompée. N'ayant pas aperçu, dans la passion qui l'agitait, les embuscades que les Français lui avaient dressées, il fut complétement défait, laissa près de neuf cents morts sur le champ de bataille et se vit lui-même prisonnier avec Charles d'Egmont, le prétendant au duché de Gueldre [3], et une multitude de chevaliers de marque. Tous furent remis en liberté, mais en payant une forte rançon.

Au lieu de combattre les ennemis du prince qu'ils servaient, les soldats allemands et suisses du roi des Romains se livraient partout à la maraude sous le prétexte, malheureusement fondé, que leur solde était fort arriérée. On avait à la vérité refusé le subside de guerre demandé par Maximilien, mais il s'était procuré de l'argent au moyen de quelques impôts et contributions que ses commis avaient levés avec une rigueur extrême dans les Quatre-Métiers,

[1] Le Frane n'était pas encore reconnu comme membre.

[2] Despars, IV^de^ deel, bl. 283.

[3] *Tkijnt van Ghelderen*, comme l'appelle Despars.

les districts de Bergues, Bailleul et Ypres, ainsi que dans le Franc de Bruges, ce qui n'avait pas manqué d'exciter les populations à de violents murmures.

Les sommes que produisaient ces exactions, plus imprudentes encore qu'illégales, n'entraient que pour peu de chose dans les trésors du prince et ne servaient qu'à satisfaire la cupidité et l'avarice des courtisans, qui n'avaient d'autre souci que de s'enrichir aux dépens de tout le monde, quoiqu'il dût en résulter bien des maux pour le pays [1].

Quand on considère ces circonstances et les dispositions connues des Flamands, y a-t-il lieu de s'étonner d'une nouvelle levée de boucliers de leur part?

Un soulèvement avait eu lieu à Gand, en 1486, mais le seigneur de Ghistele, grand-bailli de la ville, était parvenu à le réprimer, peut-être parce que le peuple n'avait pas de chef capable. Il en devait être tout autrement l'année suivante.

Adrien Vilain, seigneur de Rassegem, avait pris une grande part à la première guerre des Gantois contre Maximilien; mais comme il était très-aimé du peuple, on n'avait pas osé l'exclure de l'amnistie et même on lui avait conféré un emploi. Il s'en fallait cependant qu'il jouît de quelque confiance près du roi des Romains et, quand l'orage parut calmé, ce prince s'assura de sa personne et le fit incarcérer dans la forteresse de Vilvorde. Il y attendait depuis quelque temps qu'on prononçât sur son sort, quand son cousin germain [2], le seigneur de Liedekerke, résolut d'employer la ruse pour le remettre en liberté. S'étant associé à cet effet vingt-quatre hommes sûrs et d'une audace à toute épreuve, il en mit le plus grand nombre en embuscade autour de la forteresse, dont il savait que le gouverneur était absent, tandis que lui-même, avec trois autres, feignait de se promener sans aucun but dans les environs. Parvenu à la porte, il exprima au concierge un vif désir de voir cette citadelle renommée, et parvint à le gagner par de belles paroles. Rassegem se promenait dans la cour en robe de chambre. Le sire de Liedekerke l'aborda : Partons ! dit-il, et le prisonnier, qui a reconnu son parent, le suivit

[1] Despars, IV^de^ deel, bl. 280.

[2] « Son oncle » dit à tort M. Dewez.

aussitôt. En vain le concierge jeta de hauts cris, pour empêcher cette fuite, il fut roué de coups et laissé à demi mort sur la place, tandis que les auteurs de cet attentat, rejoints par leurs affidés en embuscade, couraient à toute bride sur la route de Tournai. Ils arrivèrent sans rencontrer d'obstacle dans cette ville, où ils pouvaient se reposer en toute sécurité sous la protection du roi de France.

Leur intention n'était pas toutefois de s'y arrêter longtemps, mais ils ne s'éloignèrent pas si tôt non plus que l'avancent quelques historiens [1], car la situation exigeait beaucoup de prudence. Avant de s'aventurer en Flandre, les deux cousins sondèrent les Coppenole demeurés à Gand, afin d'apprendre d'eux si le parti de l'opposition était assez fort pour garantir leur sûreté dans la ville. Sur la réponse affirmative, ils ne tardèrent pas à rentrer dans la capitale de la Flandre et à demander des juges, pour statuer sur l'acte de violence exercé à Vilvorde et sur leur conduite antérieure. Après quelque temps d'hésitation, qui s'explique aisément, Maximilien nomma à cet effet Philippe de Clèves, Antoine, bâtard de Bourgogne, et son fils, le seigneur de Beveren. Ces commissaires se réunirent à Termonde, où les deux Vilains refusèrent de se rendre, à moins qu'on n'envoyât à Gand des otages qui répondraient de leur vie et de leur liberté. Il fut encore fait droit à cette prétention, mais ils essuyèrent un refus de la part des magistrats, quand ils voulurent les contraindre à promettre formellement de sévir contre les otages, si quelque mal arrivait aux accusés à Termonde.

Pendant ces pourparlers, quelques métiers s'étaient réunis en collace, à la prière de Rassegem et de Liedekerke, et quoique le magistrat le vît de mauvais œil, il crut plus prudent d'assembler une collace générale. Mais cette résolution porta les otages à s'éloigner aussitôt et sans bruit de Gand.

En effet, l'assemblée générale décida, et à l'unanimité, que la paix d'Arras devait être maintenue; que les seigneurs de Liedekerke et de Rassegem ne pouvaient être contraints, quel que fût le délit dont on les accusait, de sortir de la ville, mais avaient à comparaître devant ceux de Gand, leurs juges compétents et naturels; que la commune reprenait ses priviléges qu'on avait

[1] Dewez, *Histoire générale*, t. V, p. 176.

impudemment violés, en reconnaissant Maximilien comme tuteur et manbour de son fils mineur : finalement, qu'il fallait faire une enquête sur les finances de la ville depuis la mort de Guillaume Rym, et rechercher les causes de leur situation déplorable [1].

D'une déclaration aussi hardie à une insurrection ouverte il n'y avait qu'un pas, et ce pas fut bientôt franchi. Après avoir banni de la ville les bourgeois notables qui refusaient de souscrire à la déclaration de la collace, on demanda au roi des Romains de faire changer leur magistrat au nom du jeune archiduc, en imposant aux nouveaux élus l'obligation de jurer la paix d'Arras. Comme ils l'avaient prévu sans doute, cette requête offensante fut rejetée avec l'indignation qu'elle méritait, et les bourgeois nommèrent de leur propre autorité des commissaires et des électeurs. Le seigneur de Rassegem fut élu premier échevin de la *keure* et Pierre Ghyselin chef doyen, tandis que le malheureux Math. Speyaert allait payer de sa tête les faveurs dont l'avait comblé Maximilien [2].

La guerre étant désormais inévitable, il était urgent surtout de trouver un chef capable de la conduire avec succès, et on crut avoir sous la main l'homme le plus digne de confiance sous ce rapport dans la personne du seigneur de Liedekerke, dont la bravoure égalait l'adresse. Il fut donc appelé au commandement des milices de la ville, avec le titre de colonel, à son retour d'une expédition dans laquelle il avait repris de vive force son propre château, que Philippe de Clèves avait conquis en son absence. Il se mit aussitôt en devoir de rattacher Alost à la cause de Gand, mais sa tentative réussit mal et il n'osa point recourir à la violence. D'une autre part, le seigneur de Gaesbeke, partisan du roi des Romains, avait échoué plus honteusement dans une entreprise sur Termonde.

C'était une résolution bien téméraire cependant de vouloir combattre Maximilien, soutenu non-seulement par les guerriers de la Franche-Comté et les mercenaires allemands, mais, ce qui valait mieux, par un corps nombreux de cavalerie du Hainaut, plus brave et plus fidèle. On croyait pouvoir

[1] Despars, IV^de^ deel, bl. 294 en volg.

[2] *Ceux de Gand... prindrent ledict Speyaert et lui feisrent copper la teste.* Wielant, *Antiq. de Flandre*, p. 331.

compter, il est vrai, sur l'adhésion des autres membres de Flandre et sur le secours des Français, qui venaient de prendre Bourbourg ; et d'ailleurs, on se souvenait de la lutte longtemps glorieuse que la ville de Gand seule avait soutenue contre Philippe le Bon, beaucoup plus puissant que ne l'était le roi des Romains. Ce souvenir fut cause apparemment qu'on rétablit les chaperons blancs et les compagnons de la verte tente.

Quelles mesures prenait le roi des Romains contre cette insurrection ? Il se hâta d'abord de lancer un édit de proscription contre ces nouveaux routiers, promettant pour chaque tête six couronnes d'or et douze pour chaque prisonnier. De plus, il décréta la perte de corps et biens pour quiconque oserait fournir des vivres aux Gantois, et prit au contraire des mesures pour favoriser le commerce des Brugeois et leur procurer l'abondance de tout ce qui est nécessaire pour la vie.

Vers le milieu de décembre (1487), ce prince entra à Bruges en grande pompe et à la tête de deux cent cinquante homme d'armes, tant cavaliers que fantassins. C'était une troupe aguerrie, mais aimant plus la maraude que les combats, et qui se mit à piller impitoyablement les campagnes voisines. Chaque jour se commettaient impunément des déprédations nouvelles qui exaspéraient une population paisible.

Maximilien en était sans doute indigné lui-même, mais que faire avec un trésor épuisé? Il envoya d'abord des forces à Ypres, pour défendre cette ville contre les Français et les Gantois, mais elles furent obligées de s'en retourner, les habitants ayant déclaré qu'ils voulaient demeurer neutres, ce qu'en d'autres temps et pays on eût traité de félonie. Rebuté de ce côté, le roi des Romains indiqua une assemblée générale de la bourgeoisie à l'hôtel de ville de Bruges, pour y exposer la situation et les besoins du comté. A sa demande, on y nomma des députés qui avaient mission de se rendre à Gand et d'aviser aux moyens d'y rétablir l'autorité de Maximilien, mais ce prince eut beau démontrer que rien n'était plus urgent que de lui accorder un subside suffisant pour défendre le comté contre l'invasion française, et, si la députation pacifique était sans résultat, que la ville de Bruges avait à lui procurer un corps d'armée de deux mille gens d'armes, ou l'argent nécessaire à l'entretien d'une troupe aussi forte, pour combattre les Gantois. On lui répondit

sans hésiter que l'assemblée n'entendait pas rompre la paix d'Arras, qu'elle ne pouvait voter aucun subside sans le consentement des autres membres de Flandre, et qu'elle regardait les Gantois comme des alliés et des frères.

C'étaient là des refus bien blessants pour le roi des Romains, mais il fut plus vivement affecté encore, quand l'assemblée lui représenta qu'elle ne souffrirait plus la présence dans ses murs des mercenaires pillards qu'il avait amenés à sa suite, et qu'elle avait pris la résolution formelle de ne confier la garde des portes de la ville qu'à la bourgeoisie seule [1].

Ce dernier point lui déplaisait surtout, et il convoqua une seconde assemblée pour obtenir que ses troupes eussent exclusivement la garde des portes; mais ses belles paroles, comme ses menaces et les raisonnements de ses conseillers échouèrent contre la volonté très-arrêtée des membres de la loi.

Pendant ce temps-là les Gantois n'étaient pas restés oisifs. Leur nouveau commandant, le seigneur de Liedekerke, s'était rendu maître, partie par stratagème partie de vive force, de la ville et de la citadelle de Courtrai, qui était du ressort de Gand. C'était un exploit digne d'éloge, s'il ne l'avait pas souillé en tuant de sa main le seigneur de Heule, gouverneur de la place, grièvement blessé et hors d'état de faire quelque résistance. Il entreprit ensuite de se rendre maître de la ville forte de Hulst, dont la possession était d'une haute importance pour la sûreté de Gand; mais les habitants, sujets de la Flandre impériale et partant attachés au parti de Maximilien, avaient prévu l'attaque de Gantois et s'apprêtaient à les bien recevoir. De Liedekerke revint sans avoir combattu.

Peu après arriva la députation brugeoise. Elle mit autant de zèle que de prudence à remplir sa mission pacifique, mais elle ne parvint pas à la mener à bonne fin. Ceux qui avaient la haute main dans les affaires à Gand lui répondirent, par l'organe du greffier de la ville, que la commune ne voulait pas se soustraire à l'autorité de son seigneur légitime et naturel, mais qu'elle ne saurait se soumettre au gouvernement actuel, aussi longtemps qu'on n'aurait pas redressé ses justes griefs, dont les principaux étaient : la rupture de la paix d'Arras, la mauvaise administration des finances, l'usurpation que se

[1] *Excel. Cron.*, p. 229 verso.

permettait Maximilien en faisant battre dans le pays une monnaie qui n'était pas aux armes de leur comte, l'archiduc Philippe, la nomination d'officiers étrangers, faite récemment contre les coutumes et priviléges du pays, et finalement le parti qu'on avait pris de ne rendre aucun compte des contributions, impôts, accises, cueillotes et autres aides extraordinaires, dons gratuits et subventions, qu'on avait accordés depuis quelques années à Maximilien [1].

A ces doléances, qui n'étaient pas sans fondement, les députés répliquèrent qu'ils n'avaient aucun pouvoir pour discuter des questions si importantes, et qu'ils allaient repartir pour Bruges, afin d'en faire rapport à leurs mandataires. Mais à peine y furent-ils arrivés, à la nuit tombante, qu'ils s'empressèrent d'aller trouver en secret le roi des Romains pour lui communiquer les réclamations des Gantois. Elles émurent vivement les courtisans et consternèrent le prince. Dans un conseil tenu sur-le-champ, il fut décidé qu'on ne ferait connaître au public que celle qui regardait la paix d'Arras, et qu'on lui cacherait les autres, ce qui n'était pas moins déloyal que maladroit. Le roi des Romains n'ayant pas envoyé les députés à Gand, mais bien l'assemblée de Bruges, il est évident qu'elle devait avoir communication et communication entière de tout ce qu'avaient appris ses envoyés; et, d'une autre part, était-il possible de cacher longtemps les représentations d'une ville voisine, dont beaucoup de Brugeois partageaient les sentiments et connaissaient probablement les prétentions, avant le départ des députés?

Maximilien comptait bien avoir sous peu assez de puissance à Bruges pour ne devoir rien craindre de la malveillance d'une partie de la population. Il fit ordonner à ses cavaliers hainuyers et allemands, cantonnés aux environs, de se rapprocher de la ville, et lui-même, avec les hommes d'armes qu'il avait amenés, se porta aux portes pour introduire ces troupes. A son grand désappointement, il trouva les portes auxquelles il se rendit successivement, bien fermées et soigneusement gardées par la milice des métiers, résolue à ne pas les ouvrir aux soldats étrangers. Cette tentative étant manquée, malgré l'intervention active de l'un des bourgmestres, du grand bailli et de l'écoutète de

[1] Despars, IV^de deel, bl. 512.

la ville, il demanda qu'il lui fût permis de sortir lui-même avec ses gens d'armes, mais il essuya un nouveau refus. La commune craignait que le roi ne voulût se retirer dans la place forte de Damme, dont le gouverneur paraissait lui être dévoué, et d'où la garnison, jointe à celle de l'Écluse, pouvait causer de grands dommages à la ville de Bruges et la tenir continuellement en échec.

Tous ces faits, que Pontus Huterus a travestis à plaisir [1], sont exposés avec les détails les plus exacts par un témoin presque oculaire, Nicolas Despars, qui se montre favorable à la cause de Maximilien, et par Wyds, tout aussi dévoué au roi, et qui assure [2] qu'il a consulté les relations contemporaines.

A la vue de l'opposition du peuple à ses projets, le prince retourna à son hôtel, profondément irrité et bien résolu de parvenir à son but en dépit de toute résistance. Bientôt il revint au Bourg, à la tête de ses Allemands bien armés et en ordre de bataille. Il y trouva en grand nombre des gens de la loi, des nobles, des membres de la magistrature et, en particulier, Pierre Lanchals, écoutète de la ville et son maître d'hôtel, qui avait convoqué les doyens des métiers. Ces chefs se présentèrent sans crainte, attendant qu'on leur fît connaître ce qu'on désirait d'eux, mais l'écoutète se contenta de leur dire avec rudesse et dédain : « On vous en instruira plus tard. » En ce moment, les soldats menaçaient le peuple, en brandissant leurs armes, et criaient *sta! sta* [3]*!* ce qui causa un grand effroi à la multitude qui comprenait *sla! sla* [4]*!* et donna lieu à un tumulte difficile à peindre. On s'enfuit par toutes les issues en criant partout : « On tue tout le monde au Bourg! »

Saisi de crainte à ce spectacle et ne voyant pas arriver la troupe des garçons brasseurs, dont plusieurs hommes de la loi lui avaient promis le secours, Maximilien se retira avec son escorte dans son palais, afin d'éviter une collision qui pouvait devenir funeste. Tous les métiers avaient en effet couru aux armes et s'étaient réunis au Grand Marché, chacun sous son étendard, en promenant quelques pièces de grosse artillerie. En même temps, on donna avis de ce qui se passait aux villes de Gand et d'Ypres, afin d'en obtenir aide

[1] *Rer. Austr.*, lib. III.
[2] *Chron.*, III^de^ voorw.
[3] Arrêtez! arrêtez!
[4] Frappez! frappez!

et secours pour conduire à bonne fin les projets qu'ils avaient formés, à ce qu'on disait, pour le bien commun du comté.

Bientôt la foule se rua sur la maison de l'écoutète Lanchals, pour s'emparer de ce personnage odieux aux meneurs, mais il avait suivi le roi et sa demeure était sans défense. Il ne fallut que peu d'instants pour enfoncer la porte, briser les vitres, détruire les meubles et mettre tout au pillage. Les armes qu'on trouva furent apportées au Marché et partagées entre les chefs de la multitude. Apprenant d'heure en heure de nouveaux excès de la population révoltée, Maximilien crut devoir céder, et envoya au Marché quelques-uns de ses courtisans et des marchands étrangers établis à Bruges, pour prier les insurgés de se retirer en paix, chacun dans sa maison, et leur promettre à ce prix un pardon absolu de tous les attentats qu'ils avaient commis contre leur prince. On ne répondit à ces conseils que par d'amers sarcasmes : le roi est mille fois plus coupable que nous, criait-on, en écoutant des conseillers pervers!

Loin de se calmer, l'effervescence populaire reprit avec plus de violence encore le lendemain, quand il fut connu qu'on avait découvert pendant la nuit quantité de mâts et de claies destinés à introduire par les murailles les troupes du roi dans la ville. On doubla la garde aux portes et sur les murailles, et le peuple réuni en armes sur le Marché nomma colonel de la ville Charles d'Halewyn, seigneur d'Uitkerke [1], et déjà grand bailli, qui dut prêter serment de fidélité au jeune archiduc Philippe et à la commune de Bruges.

De plus en plus alarmé des progrès du mal, le roi des Romains députa aux insurgés le président de Flandre, Paul de Baenst, pour leur demander quelles étaient leurs vues et leurs prétentions. Il lui fut répondu qu'on voulait connaître les points et articles que les Gantois avaient proposés aux envoyés de Bruges et d'Ypres pour en faire rapport aux magistrats, et dont on avait éludé jusqu'ici la communication; qu'on désirait de plus le remplacement de Lanchals, l'écoutète, et de Jean Van Nieuwenhove, le bourgmestre du cours. La première demande était juste assurément, mais peu

[1] Ou de *Dynkerke*, dit Huterus : il n'exista jamais une commune de ce nom.

agréable à Maximilien. Il fit répondre que ceux de Gand étaient absolument d'avis qu'on s'en tînt à la paix conclue avec la France à Tournai, en 1385, et récemment à Arras, en 1484, et qu'il leur proposait d'en donner copie à la commune; mais le peuple cria sans hésiter qu'il voulait l'original de toute la représentation faite par ceux de Gand [1]. Le président demanda ensuite si l'on consentait à avoir Pierre Metteneye pour écoutète, au lieu de Lanchals, et Josse de Deckere, au lieu de Van Nieuwenhove. Le peuple applaudit à ces nominations et reçut le serment des nouveaux élus, prêté dans la même forme et teneur que celui du colonel de Halewyn; il remplaça en même temps le lieutenant de l'écoutète et fit publier au son de la cloche, à la halle, qu'on accorderait cinquante livres de gros à celui qui livrerait Lanchals ou Van Nieuwenhove entre les mains de la justice.

A peine cette publication avait-elle eu lieu, qu'on décapita deux nègres de Jean Rans, margrave d'Anvers [2], convaincus d'avoir mis le feu aux quatre coins de la ville, mais sans avoir réussi dans cette criminelle entreprise. Peu après, Van Nieuwenhove fut appréhendé, jeté en prison et mis au secret.

Le même jour (le 4 février), à un signal donné par la cloche, tous les métiers au grand complet s'assemblèrent au Marché dans la plus belle tenue et sous leurs bannières respectives, pour attendre le roi des Romains, dont on avait annoncé l'arrivée comme très-prochaine. Maximilien parut en effet bientôt sur la place, monté sur un cheval de prix, avec une suite brillante de nobles et de hauts fonctionnaires. Il descendit aux halles et, se plaçant à la fenêtre d'où se faisait d'ordinaire la publication des ordonnances de la loi, il assura la multitude assemblée qu'il était prêt à lui faire toutes les concessions raisonnables et désirait savoir ce qu'on réclamait de lui. A l'instant même, on lui députa quelques bourgeois, et le nouvel amman [3] répondit au nom de tous qu'on devait se borner aux explications données au président

[1] *Dat zy t'originael van den gheelen verthoeghe, ten tyde als vooren te Ghendt gedaen, themlieden waerts hebben wilden*, dit Despars.

[2] Mais pas *marquis*, comme on l'a nommé; le jeune archiduc seul pouvait porter le titre de marquis d'Anvers.

[3] C'était un charpentier nommé Vanderbest, qui avait, dit Despars, la voix d'un taureau.

du conseil de Flandre jusqu'à l'arrivée des députés de Gand et d'Ypres, qui étaient en route, et sans lesquels rien ne pouvait se conclure.

Les métiers avaient accueilli Maximilien avec de bruyants témoignages de respect et d'attachement; mais ils ne tardèrent pas à prouver combien cette manifestation était peu sincère. Sans aucun égard pour la présence du prince, ils affectèrent de lire à haute voix des missives de Gand, où, tout en leur promettant tout le secours possible, on annonçait avec joie la mort du seigneur de Gaesbeek, tué devant Courtrai en combattant pour la cause royale. Ce qui était plus grave encore et plus insultant pour le pauvre prince, on publia qu'une forte récompense serait accordée à ceux qui appréhenderaient l'écoutète Lanchals, le receveur général le Febure, Thibaud Barradot, conseiller bourguignon, et plusieurs autres fonctionnaires dévoués. Après cette proclamation, il fut permis à Maximilien de retourner à son hôtel avec le cortége qu'il avait amené. Sans se faire illusion sur le danger qu'il courait lui-même au milieu de ce peuple furieux, il avait surtout l'âme navrée à la vue des tortures et de la mort cruelle qui menaçaient ses plus fidèles serviteurs.

EMPRISONNEMENT DU ROI DES ROMAINS.

Ses craintes ne tardèrent pas à se réaliser. Le lendemain de ce jour néfaste, une proclamation de la commune autorisa les gens de la campagne à courir sus aux soldats hainuyers et allemands qui se permettraient la moindre iniquité ou insolence; lecture fut donnée ensuite de deux lettres de ceux de Gand adressées, l'une aux colonel et collége échevinal, l'autre aux chefs doyens et commune, qui conseillaient de bien garder le roi des Romains et de s'assurer de tous ceux qui, depuis trois ans, avaient eu le maniement des affaires. On ignorait sans doute que la plupart étaient déjà proscrits par les Brugeois.

Ce sont ces lettres, pensons-nous, qui ont fait dire à Huterus et aux historiens qui l'ont copié sans examen, que c'est aux conseils des Gantois que Maximilien a dû son emprisonnement, mais ne serait-il pas permis de conserver quelque doute à cet égard? Avant d'avoir reçu aucune insinuation de la part de leurs voisins, les Brugeois avaient détenu le prince dans leur ville :

les lettres qu'on accuse n'ont-elles pas eu pour but de le faire garder et surveiller dans cette position, sans vouloir le tenir en charte privée? Il est au moins très-remarquable que Wielant, conseiller au conseil de Flandre à cette époque, s'exprime, en traitant ce sujet, bien autrement que l'annaliste hollandais au dix-septième siècle : « Pendant lequel temps, dit-il [1], les dictz communes de » Bruges et du Francq feisrent des merveilleuses nouvelletez... ; et ceuls de » Gand les *adhérèrent;* ainsi feisrent ceuls d'Ypres, de Courtray, les Quatre » Mestirs, Wase et pluisieurs aultres. »

L'*Excellente Cronycke* et Despars n'ont rien non plus qui puisse justifier l'assertion de Huterus.

Les Gantois conseillaient encore de ne pas se payer de belles paroles et de ne prendre aucun parti jusqu'à l'arrivée de leurs députés, qu'ils annonçaient comme très-prochaine. Deux jours, en effet, s'étaient à peine écoulés, quand la députation gantoise, en grande tenue et accompagnée de deux mille hommes d'armes qui marchaient enseignes déployées sous le commandement de Gilles De Brouckere, leur capitaine, se présenta aux portes de la ville. Les Brugeois avaient, il est vrai, réclamé le secours des seigneurs de Gand, mais ils n'avaient aucune envie d'introduire dans leurs murs une troupe armée de cette force. Beaucoup de promesses et de raisonnements d'une part, de plaintes et même d'invectives d'une autre, restèrent sans effet, et les auxiliaires suspects, parce qu'ils étaient trop nombreux, se virent obligés de bivaquer dans les faubourgs. On leur fournit des vivres en abondance, mais le mécontentement les fit rejeter avec dédain. Charmé de la conduite des Brugeois, Maximilien vint en personne au Marché pour leur en faire de chaleureux remercîments, espérant sans doute que de cette querelle surgirait un changement heureux pour sa position. Il se trompait malheureusement. Dès le lendemain, les députés gantois [2], à la tête de cent chevaux et d'une infanterie aussi belle que nombreuse, firent leur entrée dans la ville aux applaudissements de tout le peuple et reçurent des métiers assemblés à la Grande Place l'accueil le plus gracieux, qui devint une véritable ovation quand ils s'écrièrent : « Désormais c'est entre nous à la vie et à la mort! »

[1] *Corpus Chron. Flandr.*, t. IV, p. 551.

[2] On comptait parmi eux Jean Van de Kethulle, Denis et Gaspar Heyman, Guillaume Vanderburgt et Jean Wtenhove, dont la postérité existe encore.

Sur ces entrefaites étaient arrivés à leur tour les envoyés d'Ypres, et on comprit qu'il était temps de s'occuper d'affaires plus importantes. On demanda que la commune de Bruges nommât ses représentants pour délibérer en commun sur les mesures à prendre dans les circonstances critiques où l'on se trouvait. Ceux de Gand exposèrent d'abord que depuis quelques années l'administration du pays était mauvaise et ruineuse, au point que les finances de toutes les villes se trouvaient épuisées, malheur qu'on devait aux conseillers du roi des Romains plus cupides encore qu'ineptes et uniquement occupés à s'enrichir aux dépens de la fortune publique. Ils reproduisirent ensuite par l'organe de leur pensionnaire les points principaux du programme qu'ils avaient déjà présenté dans leur ville aux députés de Bruges [1], en ajoutant toutefois que le jeune archiduc devait, pendant sa minorité, avoir sa résidence à Gand ou à Bruges, au lieu de demeurer constamment à Malines, et que les villes de second rang, dites subalternes (*smalle steden*), ne pouvaient se soustraire à l'obéissance des chefs-lieux de leur ressort.

Après avoir ouï ce rapport, les députés eurent entre eux de longues et sérieuses conférences, dont rien ne transpira en public, jusqu'à ce qu'on fût entièrement d'accord. Il fut résolu, à l'unanimité, que le roi des Romains et tous les membres de son conseil seraient arrêtés et détenus aussi longtemps qu'ils n'auraient pas rendu compte de leur administration [2]. En conséquence, quelques-uns des députés furent chargés d'aller à la cour de Maximilien et de le prier humblement de venir au Marché près des mandataires de Gand, de Bruges et d'Ypres, qui avaient grand besoin de le voir au milieu d'eux. Dans ce moment, une telle prière était un ordre et le prince s'empressa de s'y soumettre. Après des doléances assez vives sur le mauvais gouvernement du pays et sur la gestion infidèle de ses serviteurs, on supplia Maximilien de prendre son logement à la maison de Cranenburg [3], située au côté occidental de la Grande Place et au coin de la rue Saint-Amand. Le roi montra de la répugnance, mais on insista en ajoutant qu'il aurait là sa demeure jusqu'à ce qu'on eût fait justice des malveillants et des ennemis du pays. Il fallut bien s'y résigner.

[1] Voir page 24 et suiv.

[2] *Memorieboek der stad Gent*, I^ste^ deel, bl. 350.

[3] Occupée par un joaillier, selon quelques auteurs, et par un apothicaire, selon d'autres.

On arrêtait en même temps le chancelier de Bourgogne, Jean de Carondelet, le seigneur de Pollain avec son fils, le comte de Foren, George et Wulfard de Falkenstein, l'abbé de Saint-Bertin, les seigneurs de Dudzeele, de Willermont, de Mengoval et plusieurs autres [1]. Quelques amis du prince étaient parvenus toutefois à sortir de la ville et avaient trouvé un asile à l'Écluse, d'où l'un d'eux écrivit le même jour qu'il était prêt à rendre compte en personne de sa gestion, si l'on garantissait sa liberté par l'envoi de deux otages.

Peu de temps après, quelques délégués des trois membres se présentaient à Maximilien pour lui faire connaître, et avec une rude franchise, les motifs de son arrestation et lui déclarer qu'il était par les mêmes raisons déchu justement de la manbournie de ses enfants mineurs. L'infortuné eut beau protester avec autant de dignité que d'énergie contre leurs allégations : à peine daigna-t-on lui répondre.

Dès le lendemain, les députés de Gand procédèrent au renouvellement de la loi de Bruges, au nom du jeune archiduc et en vertu d'une commission du roi de France, suzerain de la Flandre [2]. Les élus prêtèrent serment aux halles à Philippe de Bourgogne, comme à leur prince naturel, et on proclama au son de la cloche que la paix de Tournai, de l'an 1385, et celle d'Arras, de l'an 1482, seraient de tous points maintenues, d'après la décision des trois membres de Flandre, mais qu'on soumettait toutefois la question au jugement du peuple assemblé. La multitude prouva par ses acclamations combien elle attachait de prix à cette résolution, et ses applaudissements devinrent plus vifs encore quand on annonça que tous ceux qui avaient été exclus de la paix du roi des Romains pouvaient librement revenir dans leurs foyers.

Maximilien aurait bien voulu, comme on le comprend sans peine, s'échapper de sa prison et pensa à plus d'un déguisement pour atteindre ce but, mais une surveillance active et incessante devait rendre infructueuse toute tentative de ce genre. Les meneurs jugèrent cependant que la maison de Cranenburg, où il était détenu, n'était pas assez sûre, parce qu'elle avait vue sur le Marché. On le pria donc, toujours avec respect, de passer dans la maison qu'un M. Jean

[1] *Excel. Cron.*, bl. 250 verso.

[2] Parmi les nouveaux magistrats se trouvait le grand-père du chroniqueur Despars : *Myn grootherre*, dit-il.

de Gros [1] avait bâtie près du Pont-aux-ânes [2]. N'ayant pas la liberté du choix, le prince fit semblant d'acquiescer volontiers à cette demande, mais avant de partir pour sa nouvelle prison, il pria à son tour les bourgeois armés, tenant son bonnet de soie à la main, de laisser auprès de sa personne dix-huit de ses familiers ou domestiques, de ne pas le livrer aux Gantois ou aux Français [3], et de ne pas permettre qu'on lui fît essuyer quelque outrage ou violence [4]. On lui accorda ces demandes sans opposition et sans arrière-pensée, et Maximilien remonta à cheval pour se rendre dans sa nouvelle demeure, dont il trouva toutes les fenêtres soigneusement garnies de barreaux de fer. La garde qu'on lui donna était composée de seize Gantois, douze Brugeois et huit Yprois.

Restait dans la ville de Bruges une troupe peu considérable d'Allemands qui avaient été au service du roi des Romains, et le peuple craignait encore quelque entreprise de leur part en faveur de ce prince. On leur ordonna de se rassembler tous au marché de Vendredi, et quelques agitateurs de la populace vociféraient contre eux des cris de mort et leur auraient à coup sûr fait un mauvais parti, s'ils n'étaient parvenus à se sauver par la fuite. Ils allèrent grossir la garnison de Hulst [5].

En même temps une troupe armée assez nombreuse conduisait au *Steen*, à Gand, les seigneurs prisonniers. Au village d'Ursel, elle les remit à une escorte de Gantois, à la condition expresse qu'on ne permettrait aucun attentat contre leurs personnes et qu'on les rendrait libres à ceux de Bruges, aussitôt que la demande en serait faite.

Jacques de Ghistele, seigneur de Dudzeele et ancien bourgmestre, était retenu à Bruges jusqu'à l'examen des comptes de la ville, dont on attribuait le mauvais état financier aux dépenses frivoles ou faites dans un but politique pendant son administration [6]. Vainement l'infortuné écrivit au magistrat pour

[1] Ou de Groos.

[2] Huterus dit que c'était la maison de Philippe de Clèves. Ce seigneur l'avait peut-être habitée quelque temps.

[3] *Ni aux Flamands*, dit M. Dewez, par une distraction assez bizarre.

[4] Le discours que Huterus prête à cette occasion au roi des Romains n'est qu'une amplification de la façon de cet écrivain.

[5] *Excell. Cron.*, p. 251, verso.

[6] On trouva pour une seule année un déficit de 20,000 livres.

se justifier, il fut accusé de concussion, et dès lors il comprit qu'on avait juré sa perte. Sa femme et sa fille, soutenues par quelques prêtres, se rendirent à la Grande Place pour demander son pardon, tout en rappelant qu'il était couvert par l'amnistie générale, accordée par le roi des Romains en 1485; mais leurs prières et leurs larmes n'émurent pas plus que leur bon droit ces hommes étrangers à tout sentiment de pitié et de justice. De Ghistele fut décapité huit jours plus tard.

Beaucoup d'autres bourgeois ou nobles, qui avaient eu des emplois sous Maximilien, avaient eu le même sort, mais non sans avoir subi auparavant les plus cruelles tortures, et cependant la fureur du peuple n'était pas assouvie, parce qu'on n'était pas encore parvenu à arrêter leur maître à tous, l'ancien écoutète Lanchals. Le magistrat fit publier de nouveau par toute la ville, qu'indépendamment de la somme déjà promise, on donnerait une rente annuelle de six livres de gros à celui qui prendrait ou aiderait à prendre le proscrit, et qu'au contraire tout habitant, quelle que fût sa condition ou qualité, qui cacherait Lanchals ou connaîtrait son refuge sans en faire rapport au magistrat, serait pendu à la porte de sa maison et sa maison rasée.

Cette publication barbare eut le résultat qu'on s'en était promis. L'écoutète dut quitter le toit qui lui avait donné quelques jours un si sûr abri, et, bientôt reconnu, il fut conduit au *Steen*, mais peu d'instants après traîné au Marché, où une population, ivre d'une joie féroce, l'accabla de sanglants outrages, en proférant des menaces plus horribles encore : « Si j'avais à traiter avec des hommes raisonnables, dit-il, il me serait aisé de prouver mon innocence, car j'ai confiance que je ne suis coupable d'aucun méfait. » Ces mots portèrent à son comble la fureur de la multitude. On le ramena en prison; le poids de ses fers fut augmenté et une forte garde, qu'on lui donna, le maltraita toute la nuit, au point qu'un chroniqueur affirme qu'il serait plus que dégoûtant de le raconter en détail [1].

Le lendemain, sans avoir égard à la sainteté du jour [2], on dressa sur la Grande Place, à côté de l'échafaud ordinaire, un autre échafaud plus large et plus élevé que d'habitude, où l'on établit l'instrument de torture encore neuf que

[1] Despars, IV^de^ deel, bl. 385.

[2] C'était le dimanche, 16 mars.

Lanchals lui-même avait fait construire pendant sa magistrature. Il y fut amené devant ses juges et longuement interrogé, mais à tous les chefs d'accusation il opposa une dénégation formelle et constante, jusqu'à ce qu'on l'eût appliqué à la torture extraordinaire. Vaincu alors par les tourments [1], il avoua quelques-uns des faits qu'on lui imputait et demanda un répit pour se recueillir avant de s'expliquer sur les autres, on le lui accorda; mais, reconduit à l'échafaud le lundi, il déclara qu'il avouerait tout ce qu'on voulait plutôt que de s'exposer à de nouveaux tourments. Il fut décapité six jours après [2].

Tandis que Bruges était en proie à ces horreurs, plusieurs faits d'armes avaient eu lieu en Flandre. La petite ville de Middelbourg avait été prise et reprise; les Allemands de la garnison de Termonde ayant chassé les Hainuyers, les bourgeois à leur tour chassèrent les Allemands pour s'unir à ceux de Gand et de Bruges; la garnison royale de Hulst, après avoir pillé et saccagé les bourgs de Caprycke et d'Assenede, avait fait essuyer une défaite sanglante aux Gantois, qui avaient tenté de s'emparer de leur ville. D'une autre part, les trois membres de Flandre avaient conclu un nouveau traité d'alliance [3].

Cependant la captivité du roi des Romains préoccupait les divers pays soumis à la maison de Bourgogne et même une grande partie de l'Europe. Par une lettre datée de Malines, l'archiduc Philippe ordonna formellement aux Brugeois de mettre son père en liberté; mais, comme d'ordinaire en pareil cas, on nia l'authenticité de cet ordre. Les sept électeurs de l'Empire s'adressèrent à la même fin aux magistrats et aux chefs doyens de la ville, sans mieux réussir que le jeune prince. Le pape Innocent VIII lui-même expédia aux Brugeois, le 22 mars, un bref très-pressant pour leur enjoindre, sous les peines canoniques les plus graves, d'élargir Maximilien. Le pontife écrivit en même temps, dit-on, à ceux du Hainaut, pour les porter à faire la guerre

[1] Huterus avance que Coppenolle vint en ce moment insulter son ennemi; mais comme ni A. die Smet, ni Despars, qui écrivaient à Bruges même, à la fin du quinzième siècle, et avec des détails très-minutieux, ne disent rien de semblable, il est heureusement permis de révoquer le fait en doute.

[2] Un beau portrait de Lanchals, d'après Holbein, se trouve dans le *Messager des sciences historiques* de 1834, p. 455.

[3] *Excell. Cron.*, f° 255 verso.

aux bourgeois révoltés, s'ils n'obéissaient pas à sa voix. En ce cas, Innocent était mal informé de l'état des choses.

Tout en espérant que la parole vénérée du saint père exercerait une influence salutaire à Bruges, les partisans de Maximilien augmentaient leurs armements pour obtenir sa liberté par la force. Ceux de Malines, de Lille, de Hulst et de l'Écluse rassemblèrent à cette fin des troupes nombreuses, sous le commandement du margrave d'Anvers et du seigneur d'Isselstein, capitaine de la cavalerie. Après avoir ravagé par le fer et le feu le métier d'Assenede, leur corps d'armée, fort de trois cents chevaux et de trois mille fantassins, se porta sur Bruges, mais ne fit aucune tentative sérieuse pour y entrer. D'un autre côté, Philippe de Clèves, qu'on appelait *Philippe Monsieur*, parcourait les campagnes de la Flandre orientale, pour les gagner à la cause du roi des Romains, et Petit Salazar, parvenu à reprendre Termonde, débarquait au Hazegras dans l'intention de s'emparer de Damme, mais sans réussir dans ce dessein.

On était parvenu à faire déposer les armes aux métiers de Bruges, et eux-mêmes avaient brûlé les échafauds et les instruments de torture; mais, à la nouvelle de ces hostilités, ils s'armèrent de nouveau et levèrent une troupe de mille hommes d'armes d'une valeur éprouvée, pour la défense de la ville.

Toutes les provinces de la Belgique n'en désiraient pas moins la fin de cette lutte malheureuse, et, au milieu même de ces courses de gens de guerre, des conférences s'ouvrirent à Gand pour concerter les moyens de parvenir à l'élargissement du roi des Romains et à la paix. Après bien des pourparlers, tant à Gand qu'à Bruges, on convint de nommer vingt-quatre prud'hommes sages et modérés, pour décider, comme arbitres, des conditions de la paix. Ces plénipotentiaires se mirent d'accord sur tous les articles, le 10 de mai, et en donnèrent connaissance à Maximilien.

PAIX.

Le prince examina, pendant quelques jours, le projet des arbitres et se décida à l'accepter. Au milieu du Grand Marché, décoré pour la cérémonie, on dressa un vaste théâtre, où l'on montait par huit marches et qui portait

un magnifique reposoir [1], orné de riches tentures de drap d'or et de tapisseries de haute lisse. Le 16 du mois, un nombreux clergé se rendit à la maison de le Gros et en ramena processionnellement le roi des Romains, au chant des cantiques et au milieu de mille flambeaux allumés. Il monta sur le trône, et quand le greffier eut donné lecture du traité, il prêta serment sur les saints Évangiles, sur le canon de la messe, et sur les reliques de la vraie croix et de saint Donat, d'observer et d'exécuter le traité de paix de point en point, sans jamais rien faire ni permettre de faire qui en blesserait les stipulations, se soumettant en ce cas à toutes les censures de l'Église, nonobstant les priviléges qu'il pouvait avoir comme roi des Romains. Par son exprès commandement, le même serment fut prêté par Adolphe de Clèves, seigneur de Ravestein; Philippe de Clèves, son fils; Philippe de Bourgogne, seigneur de Beveren et de Ter-Vere, et par tous les députés des provinces soumises à obéissance des Pays-Bas, tant séculiers qu'ecclésiastiques, qui se trouvaient réunis autour de l'estrade [2].

Voici les points principaux de cette paix :

Les trois membres de Flandre sont tenus de mettre de suite en liberté le roi des Romains, afin qu'il puisse se retirer où il lui plaira, mais il laissera pour otages, à Bruges, les comtes de Hannau [3] et de Falkestein [4]; à Gand,

[1] Le Saint-Sacrement était porté dans la procession.

[2] Voici les noms de ceux de Flandre : Raphaël, évêque de Rossence, abbé de Saint-Bavon; Philippe, abbé de Saint-Pierre; Gérard, abbé d'Eenaeme; Guillaume, abbé de Baudeloo; Rasse, abbé de Dronghen; Clément, prévôt de Saint-Martin, d'Ypres; Pierre Bogaert, prévôt de Saint-Donat; Pierre Vandenhoute, prévôt de Renaix; Wautier Vandergracht, chevalier; Jean de Stavele, seigneur d'Isenghien; Colard d'Halewyn, seigneur de Boesinge; Corn. de la Barre, seigneur de Mouscron; Adr. Vandergracht, seigneur de Cardou; Jean de Claerhout, seigneur de Pothem; André Vandewoestyne, seigneur de Beselaere; Josse Vanderpoort, seigneur de Moorslede; Adr. Vilain, seigneur de Rassegem; Gérard Van Anghereel, Jean Depick, Jacq. Van den Heule, échevins; Pierre Ghyselyns, grand doyen; Liévin De Moor, doyen des tisserands, députés de Gand; Josse De Deckere, bourgmestre; Jean Vanderlinde, Ét. Vangheinst, Jean Beyts, pensionnaire, députés de Bruges; Pierre Delanghe, André Palinck, Jean de Coorne, députés d'Ypres; Hug. Gantois, Jean de Lattre, Jean François, députés de Lille; Amé Pinchon et Jean de le Vacquerie, députés de Douai; Arn. d'Escornaix, Jean de Wolff, Jean Vandermeire, députés d'Audenarde; Gérard de Splytere, député d'Alost, et quelques autres de la West-Flandre.

[3] Mais non de Hainaut, comme dit M. Dewez.

[4] Les auteurs ne sont pas d'accord sur les otages laissés à Bruges : selon Wielant, c'étaient les seigneurs de Pothem et de Scorne, et selon A. die Smet et Despars, le margrave de Bade et le duc Christophe de Bavière.

Philippe de Clèves, seigneur de Winendale; et si le prince manque à quelque point du traité, de Winendale sera déchargé de tout serment de fidélité envers le roi, et s'engagera par serment et par lettres à ceux de Flandre, de combattre pour eux de tout son pouvoir.

Une amnistie entière et générale est accordée pour tous les méfaits et dommages qui ont eu lieu par la guerre ou autrement, et tous les procès nés des divisions passées éteints et abolis. Si quelqu'un a mésusé de son office, il sera tenu d'en répondre devant la justice et non ailleurs.

Les états feront tout ce qui est possible pour obtenir du roi des Romains qu'il fasse partir sans délai tous les hommes d'armes qui se trouvent dans l'intérieur du pays ou sur ses frontières, afin qu'on puisse se livrer avec sécurité au commerce et à l'agriculture. La paix de 1482 avec la France sera maintenue, et on en donnera connaissance au sire des Querdes, gouverneur d'Artois et de Picardie.

Le gouvernement du pays, pendant la minorité de l'archiduc Philippe, se fera en son nom : dans le comté de Flandre, par ceux du sang [1] et les conseillers qu'ils nommeront, et, dans les autres, par le roi des Romains, comme tuteur et manbour, d'après l'avis de ceux du sang et des états [2]. Le jeune prince tiendra sa résidence en tels lieux que les états désigneront.

On ne fera ni paix ni guerre, si ce n'est de commun accord.

Désormais les états se réuniront de droit tous les ans, dans les premiers jours d'octobre, en l'une des villes de Flandre, du Brabant ou du Hainaut; la première assemblée aura lieu à Bruxelles en 1488, la seconde à Gand en 1489 et la troisième à Mons en Hainaut l'année suivante [3].

Après la cérémonie imposante de la prestation du serment, Maximilien se rendit, avec quelques membres de sa maison, à l'église collégiale de Saint-Donat, y pria quelque temps et ordonna à son jeune fils de jurer à son tour le traité de paix sur les reliques du saint patron. Ensuite il prit congé des

[1] Du côté maternel, dit le traité.

[2] *Sans y bouter aulcuns étraingiers*, ajoute Wielant.

[3] Le texte français du traité a été imprimé par Dumont, *Corps diplom.*, t. III, 2me partie, p. 201; le texte flamand, plus exact et plus complet, par A. die Smet, *Excel. Cron.*, pp. 246 à 252. Wielant en a donné une longue analyse, *Corp. Cron. Fland.*, t. IV, pp. 331 et suiv.

députés et du peuple [1] avec beaucoup de courtoisie, et partit pour le château de Male à la tête d'un cortége aussi brillant que nombreux. Philippe de Clèves, qui l'avait accompagné jusqu'à la porte de Sainte-Croix, lui dit alors, dans une entrevue particulière : « Sire, vous êtes libre maintenant; je vous prie de me déclarer franchement vos intentions : êtes-vous résolûment décidé à observer les conditions de la paix qu'on vous a imposée? Si ce n'est pas votre pensée, je prendrai, de mon côté, le parti qui me paraîtra le plus utile et le plus honorable. » — « Mon cousin, répondit le roi, mon serment et ma promesse sont sacrés; je les garderai inviolablement. »

Cependant, la ville de Bruges était en fête et les réjouissances se prolongeaient pendant la nuit, quand on s'aperçut que les flammes dévoraient plusieurs maisons du village de Male. La joie fit place aussitôt à la crainte, et les chants de triomphe à des cris violents contre le roi des Romains, qu'on accusait de mauvaise foi et de trahison. Mais il assura le lendemain aux députés qu'on lui envoya, qu'il était bien résolu à garder ses serments, et que les auteurs de l'incendie n'étaient autres que des déserteurs de Bruges et du Franc qui méconnaissaient ses ordres.

Dans ces entrefaites, l'empereur Frédéric III, arrivé à Anvers avec une armée de quarante mille hommes, écrivit à ceux de Gand qu'il n'était pas descendu en Flandre uniquement pour délivrer son fils, mais encore pour recevoir l'hommage qui lui était dû par les Flamands de la rive droite de l'Escaut. A quoi fut répondu poliment, que jamais ces habitants n'avaient rendu hommage à l'Empereur, mais au comte de Flandre, son vassal, qui se trouvait avec lui. Frédéric n'insista point.

Il avait persuadé à Maximilien que son serment ne l'obligeait pas, puisqu'il l'avait prêté quand il n'était pas libre, ce qui n'était qu'un sophisme [2]. Le père et le fils ayant réuni leurs forces, vinrent camper à Everghem, dans l'espoir de s'emparer de Gand en un tour de main, d'autant plus que le côté de la

[1] On a écrit que « la populace vint, quelques jours après la mort de Lanchals, implorer son pardon aux pieds de Maximilien et ramper dans la poussière de ses pas dans la même maison de Cranenburg. Ce récit est tout à fait imaginaire.

[2] N'était-il pas libre au milieu des États de tous les pays de par deçà et en parlant à Philippe de Clèves à son départ?

ville en face de leur camp n'était guère fortifié. Ils ignoraient qu'on aurait pu appliquer aussi aux Gantois le mot connu : *Civis murus erat.* Tous les bourgeois prirent les armes, levèrent des troupes et obtinrent un secours considérable du roi de France, qui lui-même était compromis par la mauvaise foi du roi des Romains [1].

Philippe de Clèves, que le roi des Romains avait vainement engagé à suivre son exemple, était bien résolu à garder le serment qu'il n'avait prêté que sur l'ordre exprès de ce prince. Nommé chef et capitaine général des Gantois, au nom du jeune archiduc absent, il déploya pour la défense de leur ville toute la bravoure et tous les talents dont il avait fait preuve en gardant l'Écluse pour Maximilien. En trois jours de temps, il fit élever de beaux remparts de terre pour protéger les quartiers qui n'étaient pas fortifiés [2], et prit les plus sages mesures pour repousser les attaques de l'armée impériale. Plusieurs assauts, qui furent tentés par l'ennemi, coûtèrent beaucoup de sang de part et d'autre, mais les Gantois eurent constamment le dessus, et, dans un de ces combats, ils tuèrent le duc Édouard de Brandebourg, ami particulier de l'Empereur. Comme la ville n'était pas entièrement investie, Philippe de Clèves et Jean de Bruges, fils du seigneur de Gruuthuse, à la tête d'une troupe déterminée, attaquèrent sur la route de Termonde un grand convoi destiné au camp d'Evergem et s'emparèrent de quatre cents voitures de vivres, après avoir tué les cavaliers et pris les fantassins de l'escorte [3].

Oubliant qu'il ruinait l'héritage de son petit-fils, l'Empereur se vengea de ces revers par le pillage et l'incendie des villages et des bourgades sans défense ; mais il abandonna le siége de Gand [4], après cinq à six semaines de travaux et d'attaques inutiles, et finit par se retirer en Allemagne.

Bientôt la guerre embrasa toute la Flandre et une grande partie du Brabant; mais, comme de l'aveu de Maximilien, c'est là une guerre nouvelle,

[1] On lit dans le traité que le roi de France sera prié de l'approuver, comme l'héritier le plus prochain de l'archiduc à cause de la reine, sa fiancée.

[2] Bachten walle lach 't plat en daer viel ten besten,
Binnen drij daghen sach men schoon eerde vesten.
(*Memoriebock der stad Gent*, Iste deel, bl. 352.)

[3] Despars, IVde deel, bl. 409.

[4] La redoute, nommée le *Rabot*, a été élevée comme un monument de cette belle défense.

ayant une autre cause et un autre but, nous pensons devoir terminer ici ce travail.

Nous avons suivi dans ce Mémoire le récit de trois historiens contemporains et témoins oculaires des faits : le président Wielant, Nicolas Despars et l'auteur de l'*Excellente Cronike van Vlaenderen*. Le travail des deux premiers étant resté longtemps inédit, et celui du troisième, écrit en vieux flamand, on ne doit pas s'étonner que les écrivains modernes [1] aient suivi pas à pas la narration de Pontus Huterus, mais il n'en est que plus nécessaire de la rectifier en plusieurs endroits. C'est ce que nous avons essayé de faire. Quant à la cause de la guerre, le refus de conférer la manbournie sans condition à Maximilien, nous pensons qu'il y avait de solides raisons pour l'appuyer. A la vérité, les autres provinces ne partagèrent pas l'opposition de la Flandre, et c'est là sans doute ce qui a fait écrire qu'elle était insoutenable; mais aurait-on jugé de même si l'on avait remarqué que ces pays relevaient du droit public de l'Allemagne, qui était sans autorité pour la Flandre, vassale de la couronne de France? La cause de la divergence des opinions nous paraît être là.

Cette guerre eut, en tout cas, les suites les plus funestes pour la Flandre et pour la ville de Bruges en particulier, qui lui dut la décadence de son commerce, si étendu pendant des siècles. Les marchands étrangers, fatigués de ces troubles continuels, s'en éloignèrent, et le port fameux du Zwin s'ensabla peu à peu entièrement. Il en fut autrement de Gand qui, étant dès lors essentiellement manufacturière, trouvait son compte à expédier ses produits à l'étranger par le port d'Anvers, heureux rival de celui de Bruges.

[1] M. le baron Kervyn, toujours excepté.

FIN.

ÉTUDES HISTORIQUES SUR LA LÉGISLATION CRIMINELLE.

MÉMOIRE

SUR

L'ORGANISATION JUDICIAIRE,

LES

LOIS PÉNALES ET LA PROCÉDURE CRIMINELLE

DE L'ÉGYPTE ANCIENNE;

PAR

J.-J. THONISSEN,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE.

Mémoire présenté le 7 novembre 1864.

MÉMOIRE

SUR

L'ORGANISATION JUDICIAIRE,

LES

LOIS PÉNALES ET LA PROCÉDURE CRIMINELLE

DE L'ÉGYPTE ANCIENNE.

INTRODUCTION.

On trouve dans les traditions primitives de l'Égypte un mythe analogue à celui que les Brahmanes ont placé près du berceau de la législation civile et criminelle de l'Inde. Thoth, le Trismégiste des Grecs, l'Hermès céleste, personnification vivante et vigoureuse de l'intelligence divine, avait écrit, comme Manou, par l'ordre du Dieu suprême, les lois destinées à présider au gouvernement des créatures intelligentes. Il apporta ces lois sur la terre et devint ainsi le premier initiateur de l'humanité, jusque-là plongée dans une barbarie abjecte. Mais les hommes, au milieu des malheurs amenés par leurs dissensions, oublièrent bientôt les leçons qu'ils avaient d'abord reçues avec autant d'admiration que de reconnaissance; leurs instincts corrompus se réveillèrent avec une violence sans cesse croissante; un cataclysme renversa les colonnes de granit où le législateur divin avait gravé ses conseils et ses préceptes, et l'espèce humaine retomba rapidement dans son premier état d'ignorance et de dégradation. Alors Isis et Osiris se chargèrent de la noble tâche de ramener la civilisation sur le sol sacré de l'Égypte, et Thoth, repre-

nant son premier rôle, s'incarna pour devenir le précepteur, le guide et l'associé fidèle de ces divinités bienfaisantes, dans toutes leurs tentatives de régénération. Restaurateur du langage articulé; inventeur de tous les arts utiles; fondateur et régulateur de toutes les institutions religieuses et sociales de la vallée du Nil, ce nouveau Thoth, après avoir redressé les colonnes jadis élevées par son prédécesseur, écrivit à son tour quarante-deux livres sacrés, qu'il confia à la garde des prêtres et que chacun de ceux-ci devait posséder à fond, en tout ou en partie, selon la nature de ses fonctions et le rang qu'il occupait dans la hiérarchie sacerdotale. Le deuxième de ces livres prescrivait aux rois les règles qu'ils étaient obligés de suivre aussi bien dans leur vie privée que dans l'exercice de l'autorité suprême. Dix autres traitaient de l'ordre sacerdotal, du gouvernement de l'État et de l'administration de la cité; ils renfermaient les règles fondamentales des lois civiles et criminelles, et étaient appelés sacerdotaux par excellence [1].

[1] Souvent aussi on les appelle *Livres des prophètes;* nous en verrons plus loin la raison.

Au milieu des renseignements contradictoires qui nous ont été transmis par les écrivains de l'antiquité, il n'est pas facile de se former une opinion sur la part d'influence et d'action qui doit être attribuée à chacun des deux Hermès égyptiens. Jablonski écrivait, au milieu du dernier siècle : *De eo* (Thoth) *fere nihil dici potest, in quo veteres inter se consentiant omnes, adeo omnia sunt incerta* (Pantheon Ægyptiorum, p. III, p. 156, édit. de 1750). Nous avons été amené à faire la même réflexion au terme de nos recherches. Aujourd'hui encore, on n'est unanime que sur un seul point, l'influence prépondérante attribuée à Thoth dans l'organisation sociale de l'Égypte. On peut consulter entre autres: Diodore de Sicile, liv. I, c. 13, 15, 17; Platon, *Philèbe*, t. II, p. 309; *Phædre*, t. VI, p. 121, trad. de M. Cousin; Jamblique, *De mysteriis Ægyptiorum*, sect. I, c. 1 et 2; Manethon, dans la *Chronographia* de Georges le Syncelle, p. 40, édit. du P. Goar; Plutarque, *Symposiaques*, liv. IX, quest. 3; *Traité d'Isis et d'Osiris*, t. V, p. 320 de la trad. de Ricard, édit. de Paris, 1844; Diogène Laerce, *Vitæ phil.*, in proem; Elien, *Var. hist.*, liv. XII, c. 4; liv. XIV, c. 34; Cicéron, *De nat. deorum*, liv. III, c. 22; Pline, *Hist. nat.*, l. VII, c. 56; Clément d'Alexandrie, *Stromates*, liv. I, c. 21; liv. VI, c. 4; *Cohortatio ad gentes*, c. 2: Arnobe, *Adv. gentes*, liv. IV, c. 14; Eusèbe, *Præp. evangelica*, l. I, c. 9; Lactance, *Div. instit.*, l. I, c. 6; Tertullien, *Adv. valentinianos*, c. 15; Synesius, *De providentia*, l. I, c. II, p. 1234, édit. Migne; Stobée, *Eclogæ physicæ*, liv. I, c. 52; t. II, p. 932 et suiv., édit. de Heeren, 1792: Champollion, *Lettres écrites d'Égypte et de Nubie*, p. 149, 328, 364; Champollion-Figeac, *Égypte ancienne*, p. 134-137; Jomard, dans la *Description de l'Égypte*, t. I (*Antiq.*), c. 5; Creuzer, *Symbolik und Mythologie der alten Völker*, t. II, p. 101 et suiv., 3e édit. Au fond de l'enceinte du temple d'Edfou, Thoth est représenté écrivant sur une colonne d'hiéroglyphes, qui est la quarante-troisième d'une série de colonnes pareilles (Jomard, *loc. cit.*, p. 331). Nous espérons trouver la traduction de ces textes dans la grande publication sur les monuments de l'Égypte à laquelle M. Lepsius travaille depuis plusieurs années.

Par une suite nécessaire de cette origine divine assignée aux lois nationales, les législateurs et les magistrats de l'Égypte se trouvaient, à l'égard des livres d'Hermès, absolument dans la même position que les Brahmanes des bords du Gange à l'égard des lois de Manou. Les préceptes formulés par Thoth étaient pour eux la règle souveraine de leur conscience, l'ordre inflexible à suivre dans toutes leurs décisions. Plus d'une fois des despotes osèrent fouler aux pieds ces maximes immuables, destinées à brider leurs passions avides ou sanguinaires; mais ces abus étaient passagers, et les croyances vives et profondes de la nation finissaient toujours par triompher. Organisateur inspiré de la société humaine, le précepteur infaillible d'Isis résumait en lui la science et le droit dans leur expression la plus élevée et la plus complète; il était l'intelligence divine personnifiée. Sur les murs d'un temple que Ptolémée Évergète II lui avait dédié et que le voyageur du dix-neuvième siècle trouve encore debout au milieu des ruines de Thèbes, il reçoit les titres pompeux de « Seigneur des divines paroles », de « Secrétaire des dieux grands dans » la salle de justice et de vérité [1]. » Partout où se réunissaient des juges égyptiens, les dix livres sacerdotaux d'Hermès étaient déposés devant le président du tribunal [2].

Il en résultait une autre analogie avec les phénomènes juridiques que nous avons constatés, en procédant à l'examen des institutions de l'Inde brahmanique [3]. Quand la divinité fait entendre sa voix, l'homme doit s'incliner en silence et exécuter docilement ses ordres. Les Égyptiens, « les plus religieux des hommes [4] », n'avaient garde d'oublier cette maxime fondamentale. Altérer le texte des livres sacrés, substituer aux préceptes divins du Trismégiste la volonté faillible et essentiellement mobile de l'homme, eût été à leurs yeux commettre un sacrilége irrémissible. Par cela même qu'ils attribuaient à leurs lois fondamentales une origine divine, ils en proclamaient nécessairement l'immutabilité. Quand Diodore de Sicile visita le territoire

[1] Champollion le Jeune, *loc. cit.*

[2] Diodore, liv. I, c. 75. Ce fait cependant peut être révoqué en doute. Nous y reviendrons plus loin.

[3] Dans notre travail intitulé : *Le droit criminel dans les livres sacrés de l'Inde*, que l'Académie a fait publier dans le t. XVIII de la 2e série de ses *Bulletins*.

[4] Diodore, liv. II, c. 37.

de Bubaste, l'interprète qui l'accompagnait lui fit admirer une colonne consacrée à Isis, avec cette inscription : « Je suis Isis, reine de tout le pays. Élevée » par Hermès, *j'ai établi des lois que nul ne peut abolir* [1]. » C'était la proclamation solennelle du caractère de permanence et de fixité que les croyances nationales imprimaient à la législation primitive du pays. Imitant la vénération superstitieuse que les riverains du Gange professaient pour les lois révélées par Manou, les riverains du Nil, pendant une longue série de siècles, conservèrent avec un soin religieux le texte intégral des lois prétenduement révélées par Hermès. Arrivés de bonne heure à un remarquable degré de civilisation, ils repoussèrent énergiquement l'idée d'un progrès futur, et, pour mieux assurer l'immobilité de leurs institutions, ils firent de tous les principes de leurs codes civils et criminels autant de décrets d'un infaillible oracle [2].

Malheureusement, si nous possédons plus de deux mille stances (*slokas*) des lois de Manou, il ne nous reste pas une page des livres juridiques d'Hermès; car la saine critique ne saurait accorder une valeur quelconque aux fragments dénaturés qu'on a cru reconnaître au milieu des rêveries et des fables consignées dans quelques écrits apocryphes [3]. Cette législation puissante et vivace qui, pendant plus de quinze siècles, fit de l'Égypte un objet d'admiration pour tous les peuples de l'antiquité, ne sera jamais complétement livrée à l'appréciation des peuples modernes. Et cependant c'est ici surtout que les Égyptiens pouvaient se croire en règle avec le temps et avec la postérité! Jamblique porte à plus de vingt mille le nombre des livres où les doctrines et les préceptes d'Hermès avaient été commentés et développés par les membres les plus distingués de la classe sacerdotale [4].

Le sort n'a pas été moins implacable pour les législateurs qui, tout

[1] Diodore, liv. I, c. 27.

[2] En faisant ces rapprochements entre l'Égypte et l'Inde, nous n'entendons pas nous prononcer ici sur la question, aujourd'hui encore si vivement controversée, des origines de la civilisation des habitants de la vallée du Nil. Ce problème si vaste n'appartient pas à notre sujet.

[3] Nous voulons parler de ces prétendus livres hermétiques, probablement composés par des néoplatoniciens de l'école d'Alexandrie, plus ou moins imbus de gnosticisme.

[4] Manethon portait leur nombre jusqu'à 35,625; voy. Jamblique, *De mysteriis Ægyptiorum*.

en respectant les traditions religieuses du pays, ajoutèrent aux décrets d'Hermès un nombre plus ou moins considérable de prescriptions nouvelles. Le texte des lois de Mnevis, de Sasychès, de Sésostris, de Bocchoris, d'Amasis, citées par Diodore de Sicile, est à jamais perdu. Ici encore, le malheur et la barbarie ont déjoué toutes les précautions imaginées par le génie d'un peuple qui, plus que tout autre, s'était flatté du noble espoir de léguer de glorieux exemples à l'admiration des races futures [1].

Jusqu'à la fin du dernier siècle, on ne connnaissait la législation criminelle de l'Égypte que par les règles éparses, et malheureusement trop peu nombreuses, citées par des écrivains appartenant à tous les âges de la littérature du monde ancien. Depuis lors, d'admirables découvertes ont été faites sous le patronage de plusieurs gouvernements européens; mais, par une regrettable fatalité, c'est précisément dans la sphère de la législation pénale que ces découvertes ont été les plus rares et les moins fructueuses. Les inscriptions qui couvrent les vastes monuments de la haute Égypte, les nombreux papyrus trouvés au fond des sarcophages, nous donnent de précieux renseignements sur la chronologie, l'ethnographie, la mythologie, les cérémonies religieuses, les expéditions guerrières et les usages domestiques de cette époque éloignée; mais des résultats analogues n'ont pas été obtenus pour l'histoire des institutions judiciaires. Pour le catalogue des délits et des peines, pour le rôle de l'accusateur, du témoin, du juge et du bourreau, les inscriptions et les manuscrits sont à peu près muets. Nos connaissances se sont accrues, sans doute, et des perspectives nouvelles se sont ouvertes; mais, malgré les investigations ingénieuses de la science contemporaine, le mystère qui entoure cette législation antique est loin d'être dissipé. Les récits incomplets et parfois contradictoires des écrivains de l'antiquité sont, aujourd'hui encore, la source principale où l'historien du droit criminel doit aller puiser.

Un autre inconvénient se présente. Les historiens et les philosophes qui

sect. I, c. 1 et 2; sect. VIII, c. 1 et 4. Il est certain que les prêtres égyptiens attribuèrent à Hermès une foule de livres, afin de leur donner plus d'autorité. Hermès était la personnification de la caste savante, l'idéal du sacerdoce égyptien. Mais il n'est pas moins certain que les quarante-deux livres primitifs dont nous avons parlé ci-dessus (p. 4) furent toujours l'objet d'une vénération particulière.

[1] Nous parlons plus loin de ces recueils de lois égyptiennes.

parlent de la législation de l'Égypte n'indiquent pas toujours l'époque précise où les règles qu'ils citent dans leurs écrits ont pris naissance. Ils ne tiennent pas assez compte de l'influence exercée sur les lois nationales par la domination successive des Perses et des Grecs. On se trouve ainsi exposé à confondre les coutumes antiques des Pharaons avec les usages exotiques, introduits, beaucoup plus tard, par des conquérants venus de l'Asie et de l'Europe. Mais heureusement, quand il s'agit de l'Égypte, cette confusion est moins à craindre que partout ailleurs. La persévérance à marcher dans les voies tracées, l'obstination à conserver intactes les coutumes et les mœurs des ancêtres, furent de tout temps les caractères distinctifs de la race égyptienne [1]. Ajoutons que la classe sacerdotale survécut au despotisme asiatique et fut maintenue, avec tous ses priviléges essentiels, par la dynastie européenne des Lagides. Or cette classe, on le sait, veilla constamment, avec un soin superstitieux, au maintien inaltérable des traditions de l'antiquité, à tel point que si l'un de ses membres s'en écartait, même dans les choses d'une faible importance, il était à l'instant même dégradé et expulsé du sanctuaire [2]. Grâce à ses efforts opiniâtres, le système religieux de la nation triompha des dominations successives des Perses, des Grecs et des Romains, et, depuis Memphis jusqu'aux dernières bourgades du royaume, les anciens dieux régnaient encore le jour où leurs temples furent fermés par le christianisme [3]. Ce fait seul suffirait pour prouver que, jusqu'à l'arrivée des Romains, la législation criminelle, étroitement unie au culte, ne subit aucune altération profonde. En Égypte, comme chez les Hébreux, la religion était activement mêlée à tous les incidents de la vie publique et privée; depuis le berceau jusqu'à la tombe, elle réglait tous les actes de l'homme avec une autorité absolue. Dès la plus haute antiquité, la jurisprudence y appartint à la catégorie des sciences sacrées, et les prêtres, à peu près seuls

[1] Ils avaient poussé l'amour de l'immobilité au point de fixer, par des lois immuables, la peinture, la sculpture, les chants et même la danse. (Voy. Platon, *Lois*, liv. II, p. 82 et 83; liv. VII, p. 28; trad. de M. Cousin.) Ils conservent les coutumes de leurs pères et n'en adoptent pas de nouvelles, dit Hérodote (liv. II, c. 79); et un peu plus loin (c. 91) il ajoute : Ils évitent d'user de coutumes grecques et, pour tout dire, d'aucune de celles des autres hommes.

[2] Porphyre, *De abstinentia*, liv. IV, § 8; édition d'Utrecht, 1765.

[3] Champollion le jeune, *Lettres écrites d'Égypte et de Nubie*, p. 151 et 157.

chargés des fonctions de juges, étaient ses dépositaires et ses interprètes naturels. Sous un tel régime, la conservation du culte et de la classe sacerdotale devait entraîner, dans une large mesure, la conservation du droit national, dans toutes les parties où il n'était pas incompatible avec les exigences impérieuses de la conquête[1].

Toutes les nations de l'antiquité sont unanimes à vanter la sagesse des hommes qui présidaient aux destinées de l'Égypte. Suivant des traditions communes à ce pays et à la Grèce, Orphée et Homère, Lycurgue et Solon, Pythagore et Thalès, Hésiode et Platon, étaient allés chercher l'inspiration et la science dans les sanctuaires de la vallée mystérieuse du Nil. La critique moderne n'a pas admis tous ces éloges traditionnels; mais nous n'en devons pas moins déplorer notre impuissance à reconstituer le tableau complet et détaillé des institutions pénales qui, depuis les Pharaons jusqu'aux Romains, existèrent, à peu près sans altération, à l'ombre des temples dont nous admirons aujourd'hui les ruines majestueuses. Ce tableau formerait incontestablement l'une des pages les plus intéressantes de l'histoire des évolutions successives de l'esprit humain. Mais cette page ne sera jamais écrite, et, sans nous livrer à des regrets stériles, nous devons nous contenter de recueillir et de coordonner les débris échappés au naufrage. C'est ce que nous allons essayer de faire, en présentant quelques aperçus sur l'organisation judiciaire, les lois pénales et la procédure criminelle de l'Égypte ancienne.

[1] C'est une grande erreur de croire que, lors de l'avénement des Lagides, qui montrèrent tant de respect pour les coutumes nationales, l'ancienne constitution de l'Égypte avait subi des altérations profondes. M. Letronne a très-bien prouvé que tout s'y était conservé presque sans altération, beaux-arts, langue, écriture, administration, religion, lois, usages et arts industriels. (*Mémoire sur la civilisation égyptienne, depuis l'établissement des Grecs sous Psammeticus, jusqu'à la conquête d'Alexandre;* dans les Mémoires de l'Institut, Académie des inscriptions et belles-lettres, t. XVIII, 1re partie.)

Les Lagides, à leur tour, marchèrent sur les traces d'Alexandre. Celui-ci, au témoignage d'Arrien, après avoir établi un satrape égyptien, lui avait ordonné de ne rien changer aux impôts et de les faire lever par des indigènes appartenant aux familles les plus distinguées. (Liv. III, c. 5.) Quinte Curce ajoute qu'Alexandre laissa subsister *toutes les coutumes nationales des Égyptiens.* (Liv. IV, c. 17.)

I.

SOURCE ET EXERCICE DU DROIT DE PUNIR. — ORGANISATION JUDICIAIRE DE L'ÉGYPTE ANCIENNE.

Comme toutes les nations primitives, l'Égypte faisait du droit de punir une délégation de la puissance divine. Thoth, l'Hermès trismégiste, le génie du droit uni au génie de l'éloquence, « le secrétaire des dieux grands dans la » salle de justice et de vérité, » descend sur la terre pour donner aux premiers habitants de la vallée du Nil les règles fondamentales des lois civiles et criminelles. Deux autres divinités, Isis et Osiris, guidées par Thoth, deviennent les modèles immortels des législateurs et des juges. Une quatrième divinité bienfaisante, Thméï, fille du soleil, à la fois déesse de la justice et déesse de la vérité, vient remplir dans les croyances nationales un rôle analogue à celui de Thémis dans les mythes de la Grèce. Sur tous les monuments où il s'agit de l'exercice de la magistrature, la religion se montre à côté de l'homme investi de la redoutable mission de juger ses semblables [1].

Deux éléments essentiels entraient dans l'organisation du pouvour judiciaire de l'Égypte : d'un côté, les priviléges immuables du trône; de l'autre, les prérogatives traditionnelles de la classe sacerdotale.

On a prétendu que les lois fondamentales du pays plaçaient une barrière infranchissable entre le pouvoir royal et le pouvoir judiciaire. On a dit que les prêtres seuls étaient investis du droit de juger et de punir les coupables [2].

Les témoignages de l'histoire et les nombreuses inscriptions disséminées

[1] Les traditions populaires disaient qu'Isis elle-même avait envoyé au roi Bocchoris un serpent qui, s'entortillant autour de sa tête lorsqu'il montait sur son tribunal, le couvrait de son ombre, pour l'avertir de ne pas oublier un seul instant les exigences inflexibles de l'équité; Plutarque, *De la fausse honte*, t. II, p. 561 de la trad. de Ricard. Voy. aussi Champollion le jeune, *Précis du système hiéroglyphique des anciens Égyptiens*, t. II, p. 9, et planche IV, n° 51.

[2] L'opinion émise à ce sujet par De Pauw (*Recherches philosophiques sur les Égyptiens*, sect. IX) est loin d'être complétement abandonnée.

sur les monuments de la haute Égypte se réunissent pour contredire ces assertions.

« Chaque jour, dit Diodore de Sicile, le roi offrait un sacrifice aux » dieux. Les victimes étant amenées à l'autel, le grand prêtre se tenait, » selon la coutume, près du roi, et, en présence du peuple égyptien, » implorait les dieux à haute voix de conserver au roi la santé et tous les » autres biens.... En même temps, le grand prêtre était obligé d'énumérer » les vertus du roi, de parler de sa piété envers les dieux et de sa mansué- » tude envers les hommes. Il le représentait tempérant, juste, magnanime, » ennemi du mensonge, aimant à faire le bien, entièrement maître de ses » passions, *infligeant aux coupables des peines moindres que celles qu'ils* » *méritaient* [1]. »

Ainsi, chaque jour, au pied des autels, l'autorité judiciaire du prince, loin d'être proscrite par la législation nationale, était solennellement proclamée en présence des dieux et du peuple.

Diodore nous apprend encore que le souvenir de l'équitable et ingénieuse sagesse des jugements rendus par Bocchoris avait survécu à la conquête de l'Égypte par les Romains [2]. Il rappelle que le roi Amasis se rendit odieux à son peuple en infligeant à beaucoup d'hommes des peines contre toute justice [3]. Il raconte que l'un des conquérants éthiopiens, Actisanès, ayant réuni les principaux accusés du royaume, prit une connaissance exacte de leurs crimes; qu'il fit couper le nez aux coupables et les relégua, à l'extrémité du royaume, dans une bourgade qui, en souvenir de cette mutilation, prit le nom de *Rhinocolure* [4]. Il ajoute que les rois, en prononçant leurs

[1] Diodore, liv. I, c. 70. Cet éloge était obligatoire; mais, après s'être acquitté de sa tâche, le grand prêtre terminait par une imprécation contre les fautes commises par ignorance; car, dit Diodore de Sicile, le roi étant *irresponsable*, on rejetait toutes les fautes sur ses ministres et ses conseillers, et on appelait sur eux le châtiment mérité.

On voit que la responsabilité ministérielle ne date pas d'hier.

[2] Liv. I, c. 94.

[3] Liv. I, c. 60.

[4] De Ῥιν, nez, et de Κολουρος, coupé (liv. I, c. 59). De Pauw (*Rech. phil.*, sect. IX) conteste cette étymologie, par une raison passablement étrange. Le terme de *Rhinocolure* lui paraît avoir été appliqué à un enfoncement de la côte, où quelque promontoire s'était *vraisemblablement* éboulé. Les Orientaux, comme les Arabes, dit-il, nomment en géographie *ras* ou *nez* ce que nous appelons, d'après les Italiens, un cap. (T. II, p. 269, édit. de 1822.)

jugements, étaient obligés d'agir conformément aux règles établies par les lois pour chaque cas particulier [1].

Hérodote nous fournit un témoignage analogue. Des prêtres égyptiens, initiés à tous les mystères de leur culte et à tous les secrets de leurs annales, lui racontèrent que Mycérinus (Menkera), fils de Chéops (Choufou), s'acquit l'amour de son peuple par la manière équitable et digne dont il rendait la justice [2]. Ils lui firent part d'une tradition nationale, suivant laquelle Alexandre, le ravisseur d'Hélène, jeté par les vents sur la côte de l'Égypte, fut jugé par le roi, privé de ses trésors et condamné au bannissement, « à la suite d'une accusation portée devant les prêtres. » Informé de l'existence de cette procédure, le prince avait fait conduire le coupable à Memphis afin d'y être interrogé et puni par lui-même. Pour nous servir d'une locution fréquemment employée dans nos lois modernes, il avait évoqué la cause [3].

Élevé à la cour des Pharaons, instruit à l'école des prêtres d'Héliopolis, Moïse attribue formellement aux rois de l'Égypte le droit de juger toutes les classes de la nation. Nous voyons le Pharaon qui eut Joseph pour ministre (Apôphis?) prononcer, au milieu des joies d'un festin, une sentence capitale contre l'un des premiers dignitaires du royaume. Joseph lui-même, pour sortir des fers où l'avait conduit une accusation calomnieuse, a recours au roi comme à l'arbitre suprême de la justice nationale [4].

Les découvertes de la science moderne sont venues confirmer le langage des historiens de l'antiquité. Les murs du Rhamesséum de Thèbes étalent des bas-reliefs et des tableaux, où les plus grandes divinités de l'Égypte remettent au roi, avec les insignes du commandement militaire, la houlette, symbole du gouvernement civil, et le fouet, emblème de l'exercice de la

[1] Liv. I, c. 71.

[2] Liv. II, c. 129. Diodore (liv. I, c. 64) lui adresse les mêmes éloges. Comme Hérodote, il affirme que Mycérinus poussait l'équité au point de faire des présents aux hommes honnêtes qui avaient été injustement condamnés par les tribunaux. Strabon affirme, de son côté, que Mycérinus rendait lui-même la justice. Il rapporte qu'un aigle laissa tomber l'un des souliers de Rhodope sur les genoux du roi, pendant qu'il remplissait les fonctions de juge. (Liv. XVII, c. 1. § 33, édit. Müllerus; p. 808 de l'édit. de Casaubon.)

[3] Liv. II, c. 113-115.

[4] Genèse, XL, 14, 22. Josèphe, *Antiq. jud.*, liv. II, c. 5.

justice criminelle. Ammon, le roi des dieux, l'être primordial et suprême, dit à Rhamsès : « Reçois la faux de bataille pour contenir les nations » étrangères et trancher la tête des impurs; prends le fouet et le pédum, » pour diriger la terre de Kémé[1]. » Il est vrai que, ni dans les récits des historiens, ni dans les inscriptions et les peintures qui décorent les monuments, on ne rencontre les maximes religieuses de l'Inde, qui faisaient de l'exercice de la justice criminelle le premier et le plus impérieux devoir de la royauté; mais il n'en résulte pas que les Pharaons et leurs successeurs fussent privés de ce noble attribut de la souveraineté. Ils avaient le droit, mais non pas l'obligation de juger eux-mêmes les coupables.

Quand ils se sentaient poussés par l'amour désordonné de la puissance, les rois de l'Égypte allaient même beaucoup plus loin. Ils condamnaient à l'emprisonnement, à l'exil, aux travaux publics, au dernier supplice, tous ceux qui encouraient leur disgrâce, sans observer aucune des formalités tutélaires dans lesquelles les lois du pays avaient cherché la garantie d'un jugement équitable; ils se permettaient tous les caprices des despotes asiatiques. Le prédécesseur de Sésostris remplit les prisons d'individus soupçonnés d'avoir murmuré contre sa tyrannie[2]. Un fils de ce conquérant, appelé Phéron par Hérodote, fait brûler, avec le village où il les a enfermées, toute une multitude de femmes que son esprit égaré par la superstition soupçonne d'avoir manqué à la foi conjugale[3]. Chéops condamne une partie de son peuple aux travaux publics, parce qu'il veut laisser à la postérité de somptueux témoignages de sa puissance et de ses richesses[4]. Apriès (Uaphrès) fait couper le nez et les oreilles de son ministre Patarbémis, parce que celui-ci avait échoué dans une mission dont il l'avait chargé auprès de ses soldats rebelles[5]. Amasis II (Aahmès), disposant

[1] Champollion-Figeac, *Égypte ancienne*, p. 56. Plutarque dit que les Égyptiens donnaient à leur pays le nom de *Chemia*, parce que le terrain en est noir comme la prunelle de l'œil. (*Traité d'Isis et d'Osiris*, t. V, p. 351 de la traduction de Ricard, édit. de 1844.)

[2] Diodore, liv. I, c. 54.

[3] Hérodote, liv. II, c. 3. Hérodote place cet événement dans la ville d'Erythrébole. Diodore (liv. I, c. 59) dit, avec plus de probabilité, que le fait eut lieu dans un village.

[4] Idem, liv. II, c. 124.

[5] Idem, liv. II, c. 162.

arbitrairement des biens et de la vie de ses sujets, menace sa propre femme de la mort la plus affreuse, parce qu'il la soupçonne d'avoir usé de maléfices[1]. Un autre roi fait égorger des hommes, pour se procurer le bain de sang dont il croit avoir besoin pour se guérir d'une maladie qui l'incommode[2]. Un autre ordonne à tous ses sujets de fléchir le genou devant le ministre qu'il a investi de sa confiance : « Que tout le peuple, lui dit-il, » obéisse aux commandements qui tomberont de tes lèvres; que nul ne » remue le pied ou la main, sans ton assentiment, dans toute la terre » d'Égypte[3]. » Un autre encore ordonne de mettre à mort tous les enfants mâles d'une tribu nombreuse à laquelle ses prédécesseurs avaient donné des terres et des pâturages[4]. Qu'on nie l'authenticité d'une partie de ces monstrueux abus de la force; qu'on range la plupart de ces actes de tyrannie parmi les fables accueillies par la crédulité populaire : on n'en viendra pas moins forcément aboutir à la même conclusion. Par cela seul que les prêtres de Memphis racontaient aux Grecs les tristes exploits de Phéron, de Chéops, d'Apriès et d'Amasis, ils avouaient que leurs rois pouvaient disposer en maîtres absolus de la liberté, des biens et de l'existence de leurs sujets. Méconnaître la valeur d'un tel aveu, ce serait fouler aux pieds toutes les règles d'une saine critique historique. Si le pouvoir judiciaire avait été complétement séparé de la puissance royale, les desservants de l'admirable temple de Phtah, les pontifes chargés du sacre et de l'intronisation des rois, les dépositaires de toute la science nationale, n'auraient pas manqué de vanter ce progrès aux barbares qui venaient leur demander les leçons de la sagesse antique.

Il entrait dans le génie de l'Égypte d'assimiler ses rois à ses dieux. Depuis le règne fabuleux de Ménès jusqu'à l'établissement de la domination romaine, les tableaux et les inscriptions qui décorent les monuments sont pour ainsi dire l'apothéose permanente de la royauté. Sur les murs des palais et des temples; sur le granit des obélisques et des colonnes; sur les flancs indes-

[1] Hérodote, liv. II, c. 181. Diodore, liv. II, c. 60.
[2] Pline le naturaliste, liv. XXVI, c. 5.
[3] Genèse, XLI, 40 et suiv.
[4] Exode, l. 16. Josèphe, *Antiq. jud.*, liv. II, c. 5.

tructibles des hypogées destinées à recevoir les dépouilles mortelles des membres de la dynastie régnante ; partout, en un mot, où les princes s'adressent à la fois à leurs contemporains et à la postérité, les formules adulatrices inventées par le despotisme théocratique de l'Orient se trouvent considérablement dépassées. Modérateur souverain du monde, grand chef de toutes les parties de l'univers, soleil régulateur de la terre, recteur de l'Occident, vivificateur éternel, seigneur des diadèmes, fils du soleil, fils d'Isis, fils d'Ammon, divin seigneur de l'Égypte, dieu grand, dieu gracieux, Horus puissant et modéré, Horus resplendissant possesseur des palmes, grand germe des dieux grands, dieu sauveur, dieu seigneur des trois zones de l'univers, image vivante d'Ammon : tels sont les titres que les rois de toutes les dynasties s'attribuent jusque sur les murs des sanctuaires où l'on adorait les premières divinités du pays. Dans une foule d'inscriptions votives, on trouve des noms royaux parmi ceux des dieux invoqués par le peuple. Ailleurs on voit des Pharaons vivants qui *s'adorent eux-mêmes* ou sont adorés par d'autres dieux. Les mêmes symboles hiéroglyphiques désignaient la royauté et la divinité. L'assimilation était poussée si loin, l'identification du dieu et du roi était tellement parfaite que les mêmes règles d'architecture étaient suivies pour les édifices religieux et les habitations royales. Le trône prenait la place du sanctuaire! « Les Égyptiens, dit Diodore de Sicile, » respectent et adorent leurs rois à l'égal des dieux [1]. »

Ces faits seuls suffiraient au besoin pour dissiper les doutes et mettre un terme à toutes les controverses.

[1] Voy. Champollion le jeune, *Lettres écrites d'Égypte et de Nubie*, pp. 96, 161, 167, 208, 211, 219, 226, 227, 271, 275, 506, 516, 518, 526-529, 551, 585. — Le texte grec de l'inscription de Rosette (ligne 10) donne à Ptolémée Épiphane le titre de *dieu né d'un dieu et d'une déesse, comme Horus, le fils d'Isis et d'Osiris*, Θεος εκ θεου και θεας καθαπερ Ωρος ο της Ισιος και Οσιριος. (Champollion le jeune, *Précis du système hiéroglyphique des anciens Égyptiens*, t. I, pp. 184 et suiv., 2me édit.). Dans les ruines de Thèbes existe un bas-relief représentant Ptolémée Philadelphe, costumé en Osiris, assis sur son trône, à côté de sa femme, la reine Arsinoé, coiffée des insignes des déesses Mouth et Hathôr. Placé au pied du trône, Evergète II lève les mains en signe d'adoration et adore « le divin père de ses pères, la divine mère de ses mères. » Champollion-Figeac, *Égypte ancienne*, p. 58. — Voy. encore Dunker, *Geschichte des Alterthums*, p. 76, édit. de 1852; Ampère, *Voyage en Nubie*. (Revue des Deux-Mondes, 1849, I, p. 95 et suiv.) Éd. Levy, *Études philosophiques sur l'architecture*, p. 20. (Mém. couronnés de l'Acad. roy. de Belgique, t. IX, coll. in-8°.)

Comment des rois assimilés aux dieux, identifiés avec les dieux, n'auraient-ils pas revendiqué le droit de juger, dans un pays où l'exercice de la juridiction criminelle était envisagé comme une émanation directe de la divinité? L'histoire ne nous offre pas un seul exemple d'une dynastie royale abdiquant bénévolement, au profit d'une classe nombreuse de ses sujets, l'une des attributions les plus importantes et les plus glorieuses de la couronne. Les rois de l'Égypte n'eurent jamais la pensée de se résigner à ce sacrifice, et, sous ce rapport encore, les monuments confirment les assertions de Moïse, d'Hérodote, de Strabon et de Diodore de Sicile. Sur les murs des temples de Louqsor, de Kourna, de Karnac, sur tous les débris de Thèbes, les souverains du pays revendiquent avec orgueil le rôle supérieur qui leur était assigné dans l'administration de la justice. Ils se nomment *les seigneurs de la justice, les soleils gardiens de la justice, les seigneurs de la justice et de la vérité* [1]. Tout ce qui, depuis Bossuet et Montesquieu [2], a été dit des limites que la sagesse antique avait assignées au pouvoir suprême des Pharaons et de leurs successeurs, doit être attribué à une étude superficielle des témoignages qui nous ont été transmis par les historiens et les philosophes de la Grèce. Transporter nos idées modernes dans l'antique vallée du Nil; faire des Pharaons une sorte de monarques constitutionnels acceptant avec déférence la théorie savante de la séparation des grands pouvoirs de l'Etat, c'est commettre naïvement un anachronisme de plusieurs milliers d'années. Les rois de l'Égypte étaient en même temps législateurs, juges, commandants suprêmes de l'armée et chefs du culte national. Ils étaient des despotes divinisés [3].

[1] Champollion le jeune, *Lettres* citées, p. 208, 211, 283.

[2] Bossuet, *Disc. sur l'hist. universelle*, III[e] part., § 3; Montesquieu, *Esprit des lois*, liv. XVIII, c. 6.

[3] Ici, comme on l'a fait si souvent ailleurs, on a confondu la théorie et la pratique. Tous les instants de la journée des rois étaient minutieusement réglés par des coutumes séculaires, et leur gouvernement fut presque toujours modéré. Élevés par les prêtres, ceux-ci se trouvaient sans cesse à leurs côtés, jusque dans les appartements les plus reculés de leurs palais. Mais ces précautions mêmes, malgré l'admirable sagacité qu'elles révèlent, étaient sans force et sans influence réelle à l'égard des princes que des passions violentes poussaient en dehors des voies ordinaires. L'histoire n'en fournit que trop de preuves.

La science moderne a très-bien prouvé que les Pharaons étaient eux-mêmes les chefs du

Il n'est donc pas vrai que les rois fussent privés du droit d'exercer par eux-mêmes la justice criminelle. C'était, au contraire, en leur nom et avec leur assentiment, au moins tacite, que les prêtres et les autres magistrats siégeaient dans les tribunaux ordinaires.

La composition de ces tribunaux ne nous est que très-imparfaitement connue; mais cependant nous en savons assez pour y découvrir les traces d'une organisation savante, digne de la réputation traditionnelle de sagesse dont les Égyptiens jouissaient chez toutes les nations de l'antiquité.

L'Égypte possédait une cour suprême, composée de trente et un juges. Les trois colléges sacerdotaux de Memphis, de Thèbes et d'Héliopolis en fournissaient chacun dix. Les trois cités où la science antique comptait ses plus nobles interprètes jouissaient du privilége de fournir les représentants les plus élevés de la magistrature nationale [1].

Selon Diodore de Sicile, les trente membres du tribunal suprême, réunis à Thèbes, choisissaient eux-mêmes leur président, et la ville à laquelle il appartenait envoyait aussitôt un autre juge pour le remplacer. Suivant Élien, les honneurs de la présidence étaient toujours conférés au membre le plus âgé. Tous étaient entretenus aux frais du roi, et le président recevait des appointements considérables. Il portait au cou une chaîne d'or, à laquelle était suspendue une statuette en pierre précieuse représentant la déesse Saté (*la Vérité aux yeux fermés*). Au témoignage d'Élien, il était réputé le plus intègre de tous les hommes. Ses collègues surent, de leur côté, se transmettre de siècle en siècle le noble héritage d'une réputation sans

culte national. (Voy. Duncker, *Geschichte des Altherthums*, t. I, p. 75 et suiv., édit. de 1852.) Nous connaissons des rois qui, pendant une longue série d'années, firent fermer les temples et interdirent les sacrifices. (Hérodote, liv. II, c. 124-128.)

[1] Diodore, liv. I, c. 75. Diodore dit que les Égyptiens choisissaient les trente juges parmi les premiers habitants des trois villes citées. Il n'est pas possible de prendre ce passage à la lettre. Comme, en thèse générale, les prêtres seuls, ainsi que nous le verrons plus loin, remplissaient les fonctions de juge, il faut admettre que les Égyptiens désignés par l'historien étaient les membres des colléges sacerdotaux établis dans les trois capitales du royaume, et non les habitants en général. La supposition d'une intervention directe des habitants de Thèbes, de Memphis et d'Héliopolis se trouve complétement écartée par l'organisation fondamentale de l'Égypte, où la nation était privée de droits politiques, et où, d'autre part, la classe des guerriers et la classe populaire se livraient à des professions qui n'avaient rien de commun avec l'exercice de la magistrature.

tache, et les Égyptiens, toujours partisans du symbolisme, avaient fait de l'aile de l'autruche le signe hiéroglyphique de l'impartialité de leurs décisions [1]. L'historien d'Agyre les compare aux membres de l'aréopage d'Athènes et du sénat de Sparte, et les monuments les montraient privés de leurs mains, pour attester qu'ils étaient inaccessibles aux présents. Les statues qui reproduisaient les traits de leur président avaient les yeux baissés, « parce qu'il ne devait regarder que la vérité [2]. » Les auteurs de la *Description de l'Égypte* supposent, non sans raison, qu'ils rendaient leurs décrets solennels dans cette admirable salle hypostyle du Rhamesseum, dont les débris épars arrachent encore un cri d'admiration au voyageur qui parcourt les ruines de la ville aux cent portes [3]. Les Égyptiens aimaient à représenter sur les murs de leurs palais et de leurs temples des scènes analogues à la destination qui leur était assignée. Or, Diodore nous apprend que, dans l'immense salle du monument qu'il appelle le tombeau d'Osymandias, et qui n'était autre que le somptueux édifice élevé par Rhamsès le Grand, on avait sculpté les images du président et des trente juges de la cour suprême [4].

A quel degré le roi intervenait-il dans la composition de ce tribunal, la première et la plus importante de toutes les institutions judiciaires du pays?

[1] Horapollinis *Hieroglyphica*, lib. II, c. 118, édit. Leemans; Amstelodami, 1835. Horapollon explique ce signe par l'étrange raison que l'autruche est le seul oiseau dont les ailes présentent une égalité parfaite en tous sens. — Le signe hiéroglyphique du juge lui-même était un vêtement royal placé à côté d'un chien regardant une figure nue (*ibid.*, liv. I, c. 40). Les juges étant facilement admis auprès du souverain, surtout dans les temps anciens, le peuple disait qu'ils avaient « le droit de voir le roi nu. »

[2] Diodore, liv. I, c. 48 et 75; Élien, *Variæ hist.*, lib. XIV, c. 34; Plutarque, *Traité d'Isis et d'Osiris*, t. V, p. 328 de la traduction de Ricard.

[3] *Description de l'Égypte*, t. II (*Antiquités-descriptions*), pp. 297-298, 2me édit.

[4] Hérodote, liv. I, c. 48. — Les érudits ont soulevé, au sujet du tribunal central de Thèbes, un certain nombre de controverses que nous croyons inutile de discuter. Les uns ont dit qu'il y avait trente juges, parce que, à une certaine époque, il y avait trente nomes en Égypte. D'autres, sans alléguer aucune preuve à l'appui de leur allégation, ont prétendu que les dix livres sacerdotaux d'Hermès devaient être particulièrement gravés dans la mémoire de trois juges appartenant à chacun des trois colléges qui concouraient à la formation de la cour. D'autres encore ont affirmé que chaque membre était spécialement voué à l'étude d'un seul de ces livres, de manière que le tribunal des trente renfermait trois magistrats tirés de trois colléges différents et possédant à fond le même livre, etc. (Voy. Pastoret, *Histoire de la législation*, t. II, p. 201 et suiv.)

Diodore de Sicile dit expressément que les membres de la cour suprême étaient élus par « les Égyptiens; » mais d'autres témoignages échappés aux ravages des siècles tendent à faire croire que, l'élection étant régulièrement accomplie, les élus devaient être institués par le chef de l'État. Plutarque rapporte que le roi, avant l'installation des juges, les faisait jurer de désobéir à ses propres ordres, s'il leur prescrivait quelque chose d'injuste. Or, si l'on se rappelle que les souverains de l'Égypte exerçaient un pouvoir despotique, leur droit de repousser l'élu qui se présentait au pied de leur trône ne saurait pas même être discuté. L'admission au serment était une véritable agréation de la part du roi. On avait imaginé sur les bords du Nil un système mixte qu'on retrouve, sous des formes diverses, dans les lois constitutionnelles de plusieurs États de l'Europe moderne : la combinaison de l'autorité royale avec le privilége accordé aux grands corps judicaires d'intervenir dans le choix de leurs membres. Comment des despotes, qui jugeaient eux-mêmes et qui s'intitulaient les « Seigneurs de la justice, » auraient-ils renoncé à toute part d'influence dans le choix des premiers magistrats de leur royaume [1] ?

Les renseignements que l'histoire nous a transmis sur l'organisation des tribunaux inférieurs laissent beaucoup à désirer.

L'Égypte était partagée en un grand nombre de provinces peu étendues, appelées nomes ou préfectures. Les nomes étaient divisés en sous-préfectures ou toparchies [2], et chacune de celles-ci comprenait un certain nombre de petites circonscriptions administratives que, faute d'une désignation mieux appropriée, nous appellerons, comme Champollion, des communes rurales [3].

Le chef-lieu de chaque nome était la résidence d'un *nomarque*, dont

[1] Voy. Plutarque, *Apophthegmes des rois et des capitaines.* (Usage des rois d'Égypte.) Plutarque semble parler de tous les juges du pays; mais il est peu probable que le roi faisait comparaître devant lui les membres des juridictions inférieures.

[2] Ce nom leur est donné par Strabon (Τοπαρχια, gouvernement d'un lieu).

[3] Hérodote, liv. II, c. 164. Pline le naturaliste, liv. V, c. 9, donne aux nomes le nom de préfectures urbaines (*Praefecturae oppidorum.*) — Voy. encore Diodore, liv. I, c. 54; Strabon, liv. XVII, c. 1; Champollion le jeune, l'*Égypte sous les Pharaons*, t. Ier, p. 72 et suiv. — On n'est pas d'accord sur le nombre des nomes, ou plutôt ce nombre a varié avec les diverses époques. Diodore et Strabon en admettent trente-six; Pline en compte quarante-huit.

l'autorité s'étendait sur tout le district, et à qui les inscriptions donnent souvent les titres de « Président du pays » et de « Seigneur des hommages. » On lui adjoignait, pour l'aider dans l'administration de la justice, un certain nombre de scribes et de *juges royaux :* qualification qui, fréquemment reproduite sur les monuments, atteste que ces magistrats, à la différence de ce qui se pratiquait pour la cour suprême, étaient directement nommés par le roi. De même que les membres du tribunal central de Thèbes, ils appartenaient à la classe sacerdotale. La jurisprudence, comme toutes les doctrines morales, faisait partie de la catégorie des sciences sacrées, et celles-ci, soigneusement conservées à l'ombre du sanctuaire, n'étaient cultivées que par les ministres de la religion. Les dix livres d'Hermès qui traitaient de la nature des dieux renfermaient en même temps les lois relatives au gouvernement de l'État et à l'administration de la cité, et ces livres étaient appelés *sacerdotaux.* Les chefs des prêtres, que Clément d'Alexandrie désigne sous le nom de *prophètes*, devaient les apprendre par cœur, et l'un de leurs subordonnés, que le même écrivain appelle stoliste (στολιστης), portait la coudée, emblème de la justice, dans ces imposantes processions religieuses auxquelles s'adaptait si bien l'ampleur colossale des temples égyptiens [1]. Peu importe que Diodore de Sicile ait gardé le silence sur un point aussi important que l'union du sacerdoce et de la magistrature; cette union était la conséquence directe et presque nécessaire de l'organisation sociale de l'Égypte, où la classe sacerdotale se livrait seule à l'étude des codes qui renfermaient les préceptes et les maximes prétenduement révélés par l'Hermès céleste. Élien affirme que, de toute antiquité, les prêtres égyptiens exercèrent le pouvoir judiciaire, et Diogène Laërce ajoute que les hommes qui, sur les bords du Nil, cultivaient la philosophie et en faisaient la source des lois, recevaient les titres de prêtre et de prophète [2]. Conservés dans les temples,

[1] Clément d'Alexandrie, *Stromates*, liv. VI, c. 4, p. 254, édit. Migne. — Comme les livres juridiques d'Hermès étaient surtout confiés à la garde des *prophètes*, on les désigne souvent, ainsi que nous l'avons déjà dit, sous la dénomination de *Livres des prophètes.*

Les stolistes, qui portaient la coudée, étaient spécialement chargés du soin de vêtir les idoles et de veiller à la conservation des coutumes liturgiques.

[2] Élien, *Variae hist.*, liv. XII, c. 4, et liv. XIV, c. 54. Diogène Laërce, *Vit. philosoph.*, in proem. — Dans quelques inscriptions, les scribes dont nous venons de parler sont nommés « scribes de la justice. »

sous la surveillance sévère des pontifes, les livres mystérieux, dépositaires du savoir et de la loi, restaient éternellement fermés au peuple. On se contentait de les lui montrer au milieu des pompes sacrées dont nous venons de faire mention. Les ministres de la religion étaient en même temps les ministres de la science[1].

La généralité des termes employés par les historiens et les philosophes de l'antiquité doit nous faire admettre que les tribunaux des nomes, composés de juges et de scribes royaux, possédaient simultanément la juridiction civile et la juridiction pénale. Mais étaient-ils compétents pour statuer sur toutes les infractions en général ? N'y avait-il pas une catégorie de crimes soustraits à leur appréciation et exclusivement réservés au tribunal central de Thèbes? Dans quels cas le législateur avait-il autorisé l'appel de leurs décisions à cette cour suprême? Existait-il, à côté d'eux, du moins dans les centres de population de quelque importance, un tribunal de police pour les délits dépourvus de gravité? Toutes ces questions peuvent donner lieu à des dissertations plus ou moins ingénieuses; mais, à défaut de documents précis et dignes de foi, c'est à la raison et non à l'histoire qu'il convient de demander leur solution.

Les précautions extrêmes qu'on avait prises pour la composition du tribunal de Thèbes, la solennité de ses séances, la haute réputation d'intégrité de ses membres, la vénération constante dont il était entouré dans les diverses classes de la nation, tout atteste que, dans les circonstances les plus graves, il servait d'égide à l'innocence persécutée, autant que le permettait la forme despotique du gouvernement du pays. Si son influence avait été purement locale, on n'aurait eu aucune raison de faire concourir à sa formation, dans une mesure strictement égale, les colléges sacerdotaux des chefs-lieux des trois grandes divisions territoriales du royaume. Puisqu'on

[1] Pastoret, *Histoire de la législation*, t. II, p. 200, fait à ce sujet une réflexion très-fondée. « On pourrait soutenir, dit-il, que Diodore suppose assez l'union du sacerdoce à la magistra- » ture, quand il rappelle les travaux de ceux qui n'appartenaient pas à la caste des prêtres, » des marchands, des pasteurs, des artisans, des cultivateurs, des guerriers. Les Égyptiens » pensaient qu'il existe entre les lois civiles et les lois religieuses une liaison si étroite, qu'elles » sont toutes mieux observées quand le même citoyen en est le dépositaire et l'interprète. » Voy. encore Diodore, liv, I, c. 81; Josèphe, *Cont. App.*, liv. II, c. 5.

éprouvait le besoin de faire représenter dans son sein, par le même nombre de délégués, toutes les parties de l'Égypte, il est manifeste qu'on lui avait assigné, indépendamment de ses autres attributions, une large juridiction d'appel. Comment d'ailleurs les Égyptiens, dont la sagesse était proverbiale et qui, au dire de Diodore, avaient apporté un soin extrême à l'organisation du pouvoir judiciaire, n'auraient-ils pas aperçu les raisons qui exigent que, du moins dans un grand nombre de cas, l'appel du juge inférieur au juge supérieur soit mis à la libre disposition du condamné? Comment expliquerait-on l'importance que tous les écrivains de l'antiquité attribuent à la cour de Thèbes, si, d'un côté, sa propre compétence avait été réduite à un petit nombre de crimes, tandis que, d'autre part, les tribunaux des nomes auraient joui du privilége de statuer toujours en dernier ressort? Comment les voyageurs grecs auraient-ils comparé au sénat de Sparte et à l'aréopage d'Athènes un tribunal réduit à de si minces proportions?

Des motifs analogues nous portent à admettre, à côté du tribunal du nome, l'existence de tribunaux de police dans toutes les localités d'une importance tant soit peu considérable. Chaque ville avait son corps de magistrature [1], et la police y était faite avec une habileté, une promptitude et un esprit de suite auxquels l'antiquité tout entière s'est plu à rendre hommage. Il n'est pas possible de prétendre que, dans un tel système, les magistrats locaux fussent obligés de recourir sans cesse au tribunal du nome, même pour la répression des simples fautes de discipline. La séparation absolue des fonctions administratives et judiciaires date d'une époque infiniment plus récente. L'antiquité, surtout en Orient, ne connaissait pas les lenteurs calculées de nos codes modernes. Les contraventions légères étaient punies, à l'instant même, par le magistrat dont on avait méconnu les ordres.

A notre avis, on peut supposer qu'il y avait en Égypte trois classes de tribunaux échelonnés dans un ordre hiérarchique très-bien combiné : dans chaque commune populeuse, un tribunal composé de magistrats locaux, pour les contraventions légères; au chef-lieu de chaque nome, un tribunal

[1] Hérodote, liv. III, c. 10.

composé de juges royaux, pour les délits d'un caractère plus dangereux; dans la capitale du royaume, une cour suprême statuant sur les crimes les plus graves et exerçant la juridiction d'appel à l'égard des sentences rendues par les juges des nomes. Seulement, le caractère hiérarchique qui se manifeste constamment dans toutes les institutions de l'Égypte doit nous faire supposer que les tribunaux de divers degrés étaient composés de prêtres de divers ordres [1].

Nous ne croyons pas que l'harmonie de ce vaste plan, où se manifeste si bien le génie organisateur de l'Égypte, fut altérée par l'établissement d'une sorte de cour spéciale dans le célèbre labyrinthe du nome arsinoïte. Strabon rapporte, il est vrai, une vague tradition suivant laquelle les chefs des préfectures s'y réunissaient avec les premiers des prêtres, pour offrir des sacrifices et statuer sur les causes les plus graves [2]; mais un passage de Pline le naturaliste prouve que cette tradition était loin d'être généralement admise. « On ne convient pas, dit ce dernier, de la cause qui fit bâtir le » labyrinthe. Démotélès prétend que c'était le palais de Mothérudès; Lycéas » en fait le tombeau du roi Moeris; plusieurs disent que c'est un monu- » ment consacré au soleil, opinion qui est la plus généralement reçue [3]. » Hérodote, qui visita l'Égypte dans le cinquième siècle avant l'ère chrétienne, et qui eut de si nombreux rapports avec les dépositaires des archives nationales, se borne à dire que le labyrinthe a été érigé, comme un monument de leur puissance et de leur gloire, par les douze rois qu'il fait succéder à Séthos [4]. Quatre siècles plus tard, Diodore de Sicile en fait le tombeau de ces princes, et lui, qui nous a transmis tant de précieux détails sur les institutions de l'Égypte, garde un silence absolu sur la destination judiciaire de cet admirable édifice [5]. Évidemment, ces notions in-

[1] Nous empruntons cette dernière réflexion à Champollion-Figeac, *Égypte ancienne*, p. 46.

[2] Liv. XVII, c. 1, § 57, édit. Müllerus; p. 811 de l'édit. de Casaubon.

[3] Liv. XXXVI, c. 19. Trad. de Littré.

[4] Liv. II, c. 148.

[5] Liv. I, c. 66. — Dans un autre endroit, il attribue cet édifice à Mendès (liv. I, c. 61 et 97). Ailleurs encore, il en fait l'œuvre de Menas (*ibid.*, c. 89). — Eusèbe (*Chron.*, lib. I, c. 20, p. 189, édit. Migne) le fait construire par Lamparès, fils de Sésostris, opinion partagée par Jules Africain. (*Syncelli chronographia*, p. 60, édit. du P. Goar.) Ces divergences d'opinions ont fait croire à quelques savants qu'il y avait plusieurs labyrinthes.

M. Lepsius a retrouvé parmi les débris du labyrinthe le nom et le tombeau d'Amenemhé III.

complètes et contradictoires ne permettent pas d'affirmer l'existence d'une haute cour de justice sur les rives du lac Mœris.

Il est toutefois incontestable que les législateurs de l'Égypte avaient admis, à côté des tribunaux ordinaires, quelques juridictions investies d'attributions spéciales.

Nous savions par Diodore [1], qu'il existait en Égypte une législation particulière pour l'armée ; mais des découvertes modernes attestent que les soldats jouissaient, en outre, du privilége d'être jugés par un tribunal exceptionnel, où l'élément militaire figurait en grande majorité. Un papyrus grec du musée de Turin fournit à ce sujet de curieux renseignements. Hermogène, l'un des commandants de la station militaire d'Ombos, cite en justice Horus, fils d'Arsiési, et autres colchytes [2], qu'il accuse de s'être frauduleusement emparés d'une maison qu'il possède à Thèbes. Le tribunal saisi de la contestation est présidé par Héraclide, préfet du nome et l'un des commandants des gardes du corps du roi. Avec lui siégent deux autres commandants des gardes, Polémon et Héraclide; Apollonius et Hermogène, *des amis du roi* (titre de cour); Pancrate, officier du second ordre; Paniscus, habitant du pays, et plusieurs autres militaires. Le demandeur expose ses griefs et récapitule, en deux colonnes et demie du manuscrit, ses droits de propriété sur la maison contestée. Philoclès et Dinon, avocats des deux parties plaidantes, échangent ensuite les mémoires usités dans la procédure égyptienne. Le président résume les moyens opposés de part et d'autre, et le jugement, daté du mois d'athyr de l'an XXIV du règne de Ptolémée Evergète II, repousse les prétentions du Grec et donne raison aux colchytes [3].

Si les militaires jouissaient de cette juridiction exceptionnelle dans les

[1] Liv. I, c. 178.

[2] Profession sacerdotale d'un degré inférieur, qui avait pour objet une partie de l'embaumement des morts.

[3] Champollion-Figeac, *Égypte ancienne*, p. 47. — Il est vrai que ce jugement appartient à l'époque de la domination des Grecs (an 117 av. J.-C.). Mais n'était-il pas la conséquence de ces coutumes antiques que les Ptolémées avaient, en général, respectées avec une grande sollicitude?

Le papyrus de Turin a été publié par M. Payron. Nous regrettons beaucoup que nous n'ayons pas pu nous procurer cette œuvre intéressante.

matières civiles, même à l'égard d'individus étrangers à leur classe, il faut, à plus forte raison, la leur attribuer dans les matières pénales, où l'honneur, la liberté et la vie même se trouvent directement en cause. L'institution des conseils de guerre n'était pas d'ailleurs aussi étrangère aux peuples de l'antiquité qu'on pourrait être tenté de le croire. Chez les Assyriens, Bélésis, prêtre guerrier, coupable d'avoir dérobé l'or de Sardanapale après la prise de Ninive, fut jugé et condamné à mort par ses compagnons d'armes [1]. Chez les Perses, un tribunal composé de chefs militaires infligea la peine capitale à Orontas, coupable de tentative de désertion [2]. Il n'y a donc rien d'étonnant à voir le même phénomène juridique se produire au pied des pyramides.

Un autre tribunal d'exception existait à Naucratis, en faveur des Grecs qui venaient faire le commerce dans la vallée du Nil. Après leur avoir assigné cette résidence, qui fut longtemps le seul point du sol égyptien où les étrangers pussent établir leurs comptoirs, Amasis, dont le génie s'élevait au-dessus des préjugés de ses contemporains, leur accorda le droit de bâtir des temples et de se faire juger par des magistrats de leur propre nation [3]. Les Ioniens de Chios, de Téos, de Phocée et de Clazomène, les Doriens de Rhodes, de Cnide, d'Halicarnasse et de Phasélis, joints aux Éoliens de Mytilène, y érigèrent un sanctuaire magnifique, l'Hellénion, où des juges, nommés par toutes ces villes, rendaient la justice à leurs nationaux. On a cru, en se basant sur une fausse interprétation du texte d'Hérodote, que ces magistrats ne possédaient qu'une juridiction purement commerciale. Leur rôle était beaucoup plus étendu. Ils statuaient sur toutes les infractions commises par les Grecs résidant sur le territoire de Naucratis, et les prêtres mêmes se trouvaient au nombre de leurs justiciables. Athénée parle d'amendes qu'ils infligèrent à des sacrificateurs qui, dans les fêtes d'Apollon

[1] Diodore de Sicile, liv. II, c. 28.

[2] Xénophon, *Anabase*, liv. I, c. 6.

[3] Selon Hérodote, Naucratis était gouvernée par des magistrats ou *prostates* auxquels l'historien Hermias, cité par Athénée, donne le nom de *Timouques*, titre que portaient aussi les premiers magistrats de Marseille, qui tirait, comme Naucratis, son origine de l'Asie Mineure (Athénée, *Deipnosophist.*, liv. IV, § 52; t. II, p. 85, édit. de Schweighhauser, 1802. Letronne, *Mémoire cité*, p. 11).

et de Bacchus, avaient irrégulièrement préparé et distribué les portions de la victime réservées aux assistants [1].

Le système se complétait par l'institution de tribunaux domestiques, où le père de famille, par lui-même ou par son délégué, statuait sur les infractions légères commises, sur ses terres ou dans sa maison, par des esclaves ou d'autres individus attachés à son service. Il y a quelques années, on voyait encore, dans les hypogées de Beni-Hassan, une intéressante série de tableaux, où cette justice domestique était représentée dans tous ses détails, depuis la plainte jusqu'à l'exécution de la peine, avec une évidence d'expression écartant toute controverse sur la nature des scènes figurées par l'artiste. L'arrestation du prévenu, sa mise en accusation, son interrogatoire, sa défense, son jugement par les intendants de la maison, sa condamnation, puis l'exécution, en un mot, tous les incidents de la poursuite s'y trouvaient minutieusement exposés. On y voyait notamment un employé de la maison exhiber les pièces de conviction et un autre dresser le procès-verbal de la procédure. Un de ces tableaux, aujourd'hui malheureusement effacés, attestait que le vol domestique rentrait dans la compétence de cette juridiction patriarcale. Le chef des bergers dénonçait le gardien des vaches, qui avait tué un veau. L'accusé se défendait avec énergie; mais les membres de l'animal étaient produits, les témoins entendus, et le pasteur infidèle, confondu par ces preuves, recevait, un peu plus loin, en présence du maître, la peine de son méfait [2]. Il en était autre-

[1] Hérodote, liv. II, c. 178. Athénée, *Deipnosophist.*, liv. IV, § 52. — Dans une récente traduction d'Hérodote, M. Higuet, après avoir parlé de l'Hellénion, ajoute : « Le temple appar- » tient à toutes ces villes, et les préposés aux affaires commerciales y sont institués par elles. » Larcher traduit le passage de la manière suivante : « l'Hellénion appartient à toutes ces villes : *elles ont droit d'y établir des juges.* » Tel est, en effet, le sens réel du texte grec. « Hérodote, dit Larcher, appelle les magistrats de Naucratis προστάται ἐμπορίου, mais leur vrai nom est celui de Timûques, ainsi que nous l'apprend Athénée. *Emporium* signifie une place de commerce. Προστάτης του ἐμπορίου indique le juge de cette ville, et non pas un juge particulier pour le commerce, ce que nous appelons un consul. » (T. II, p. 516, édit. de 1786.)

[2] La même procédure était figurée, dans un autre tableau, pour un esclave qui avait volé du raisin pendant la vendange. Voy. Champollion le jeune, *Lettres écrites d'Égypte et de Nubie.* (Lettre datée des pyramides de Gizeh, le 8 octobre 1828.) — Peut-être le père de famille possédait-il le même pouvoir à l'égard de ses fils. La manière dont l'autorité paternelle était

ment en cas d'adultère. Dans le dramatique récit de la Genèse, Putiphar (Poti-Phéra) ne prononce pas lui-même sur le sort de Joseph [1]. Mais où cessait la juridiction domestique? Où commençait celle des juges royaux? A cet égard encore, les renseignements nous font complétement défaut. On sait seulement, par l'inspection des tableaux de Beni-Hassan, que la peine ne dépassait jamais la bastonnade.

Toutes ces institutions judiciaires avaient pour couronnement le tribunal sacerdotal des sépultures.

Quand le corps de l'Égyptien, après avoir subi les opérations qui devaient le préserver de la corruption, était prêt à être déposé dans le sépulcre de ses pères, la vie entière du défunt devenait l'objet d'un jugement solennel. Tout habitant de l'Égypte pouvait se constituer son accusateur, tous ses concitoyens étaient appelés à dénoncer les iniquités qu'il avait commises. C'était un véritable procès fait à la mémoire, dans lequel la privation de la sépulture servait de sanction pénale.

Quarante prêtres au moins, revêtus de leurs insignes religieux, se plaçaient au bord d'un lac creusé dans le territoire du nome auquel appartenait le défunt. Une barque, dirigée par un pilote de l'ordre sacerdotal, touchait au rivage, prête à recevoir la momie, au premier signal du président. Celui-ci, au milieu d'un silence religieux, invitait alors tous les assistants à dénoncer les iniquités que le mort avait commises. Si l'un d'eux prouvait que le défunt avait « mené une mauvaise vie, » les juges rendaient un arrêt qui privait son corps de la sépulture religieuse, et, s'il avait occupé un rang élevé, son nom était effacé de toutes les inscriptions des édifices publics et privés. Si l'accusation était injuste, son auteur était condamné à de fortes amendes. Si aucun accusateur ne se présentait, ou si l'accusation était déclarée calomnieuse, le corps était admis « à passer le lac de son nome natal. » Les parents quittaient aussitôt le deuil, rappelaient les vertus du mort, et, au milieu des applaudissements de la foule, suppliaient les

comprise en Égypte ne s'oppose pas à cette supposition. C'est Champollion le jeune qui a le premier découvert l'existence de ces tribunaux domestiques. —Voy. encore Champollion-Figeac, *Égypte ancienne*, p. 186.

[1] *Genèse*, XXXIX, 20.

dieux infernaux de l'admettre dans le séjour réservé aux hommes pieux [1]. Les rois mêmes étaient soumis à ce jugement suprême, et l'Égypte nous montre encore des monuments où les noms de quelques Pharaons ont été profondément martelés, tandis que ceux des reines leurs femmes s'y étalent tels qu'ils ont été peints ou sculptés par la main de l'artiste [2].

Sans doute, ces tribunaux des sépultures n'étaient pas des juridictions criminelles proprement dites; mais cependant, chez un peuple essentiellement religieux, où les honneurs funéraires se trouvaient en rapport intime avec les traditions et les croyances de la nation, ils n'étaient pas complétement étrangers à la justice répressive. Cette épreuve solennelle était, en réalité, l'admission de l'action publique contre les morts, et la honte infligée au cadavre constituait, au fond, une peine légale. On l'appliquait à ceux qui étaient décédés sans avoir payé leurs dettes, à ceux qui mouraient sous le poids d'une accusation dont ils ne s'étaient pas justifiés, et en général à tous ceux qui, suivant les termes généraux employés par Diodore de Sicile, avaient mené une mauvaise vie. Rien n'échappait à cette juridiction solennelle, exercée au bord de la tombe. Les vices que le législateur criminel avait passés sous silence étaient flétris au seuil de l'éternité [3].

Une telle coutume, qui remonte à la plus haute antiquité, et dans laquelle il est facile de reconnaître l'une des sources de la mythologie des Grecs [4], dénote une remarquable intelligence des besoins sociaux de l'époque. L'homme orgueilleux et avide, qui cherchait l'impunité dans sa puissance et dans ses richesses, était averti que, le jour même où il se trouverait dans l'impuissance de nuire, toutes les iniquités de sa carrière seraient impitoyablement dénoncées par ses victimes [5].

[1] Diodore, liv. I, c. 92.

[2] Champollion le jeune, *Lettres écrites d'Égypte et de Nubie*, pp. 96, 526, 551. Diodore, liv. I, c. 72. On comprend que, pour les rois, hors du cas d'un changement de dynastie, cette formalité était purement illusoire, sous un régime despotique où l'identification du roi et du dieu faisait partie des maximes fondamentales du droit public.

Diodore rapporte que deux prédécesseurs de Mycérinus, redoutant les accusations de la foule, ordonnèrent en mourant à leurs serviteurs de les ensevelir clandestinement et dans un lieu inconnu. (Liv. I, c. 64 et 72.)

[3] Liv. I, c. 92.

[4] La barque de Caron, le Styx, le tribunal de Minos, d'OEaque et de Rhadamante, etc.

[5] Le tribunal pour les sépultures exerçait à l'égard des corps la juridiction suprême que les

II.

INSTRUCTION CRIMINELLE.

Comment les tribunaux criminels de l'Égypte étaient-ils saisis de la connaissance des délits qui rentraient dans le cercle de leur compétence? Suivant quelles règles étaient-ils tenus de procéder à l'instruction et au jugement des causes qui leur étaient soumises?

Hérodote rapporte que les voleurs, soumis au jugement de l'Oracle [1], étaient amenés dans le temple par ceux qui les accusaient d'avoir dérobé une partie de leurs biens.

Suivait-on la même règle devant les tribunaux ordinaires? Ceux-ci pouvaient-ils être directement saisis par la partie lésée ou par tout autre habitant de l'Égypte? Y avait-il, à côté de chaque juridiction, un magistrat spécialement chargé de la constatation des délits, de la recherche et de la poursuite de leurs auteurs? Les juges et les fonctionnaires publics étaient-ils tous chargés de ce soin? Le retrait de l'accusation suffisait-il pour désarmer la justice répressive? De toutes ces questions, si intéressantes au point de vue de l'histoire de la législation criminelle, les deux premières sont les seules qui puissent être résolues avec une certitude entière. Tout habitant de la vallée du Nil, qu'il fût Égyptien ou étranger, libre ou esclave, avait le droit de prendre le rôle d'accusateur à l'égard des crimes dont il était le témoin ou la victime.

Alexandre, accusé par ses esclaves, étrangers comme lui, d'avoir ravi Hélène, méconnu les devoirs de l'hospitalité et volé les trésors de son hôte, fut conduit à Memphis, où ses accusateurs parurent, en même temps que

quarante-deux jurés de Amenthi, l'enfer égyptien, exerçaient à l'égard des âmes, en présence d'Osiris et de Thméï. Il nous semble inutile de rapporter ici les longues controverses auxquelles ces deux tribunaux ont donné naissance parmi les érudits des deux derniers siècles.

[1] Nous parlerons plus loin de cette espèce de *Jugement de Dieu*.

lui, au tribunal du roi[1]. Hérodote, à qui nous devons le récit de cet épisode, ajoute ailleurs qu'un membre de la corporation des embaumeurs porta une accusation contre son compagnon, qu'il avait surpris souillant le corps encore frais d'une jeune femme appartenant à une famille illustre[2]. Nous savons par Diodore que ceux qui faisaient des accusations mensongères subissaient la peine qu'ils voulaient faire infliger à l'homme injustement poursuivi[3]. Parfois même, l'accusation, toujours facultative, devenait obligatoire. Ceux qui étaient témoins d'un homicide devaient dénoncer les coupables et les traduire devant les tribunaux, sous peine d'être battus de verges et privés de toute nourriture pendant trois jours[4]. Les annales de l'Égypte attestaient que, dès la plus haute antiquité, le principe éminemment civilisateur de la proscription de la vengeance privée avait été proclamé sur les bords du Nil. Les prêtres de Memphis dirent à Diodore de Sicile qu'Isis avait donné des lois à leurs ancêtres, afin de substituer l'action calme et régulière de la justice aux violences désordonnées de l'injure et de la force[5]. La dernière des règles que nous venons de citer était la suite naturelle de cette pensée salutaire. Les citoyens ne devaient pas seulement s'abtenir d'avoir recours à la vengeance individuelle; autant qu'il dépendait d'eux, ils étaient obligés de l'interdire aux autres. Le législateur de l'Égypte, de même que celui de l'Inde, avait aperçu de bonne heure le caractère social du délit, et, par une conséquence rationnelle, il exigeait que la magistrature, accessible à tous, fût seule chargée de la réparation des outrages[6]. Aussi n'y trouve-t-on aucune trace de ces compositions pécuniaires, plus tard si communes en Europe, qui désarmaient la justice en plaçant l'intérêt privé au-dessus de l'intérêt général.

[1] Hérodote, liv. II, c. 115-115.

[2] Hérodote, liv. II, c. 89.

[3] Diodore, liv. I, c. 77.

[4] Diodore, *ibid.* Nous avons déjà dit ci-dessus, p. 27, que l'accusation publique était toujours admise à l'égard des morts.

[5] Diodore, liv. I, c. 14.

[6] Après tous ces témoignages si concordants, on a de la peine à s'expliquer pourquoi Ptolémée Philadelphe, dans son célèbre édit pour l'affranchissement des Juifs, *autorise* ses sujets à dénoncer tous ceux qui contreviendront à ses ordres. C'est probablement une erreur de copiste. (Voy. Joseph, *Ant. jud.*, liv. XII, c. 2.)

La forme de l'instruction suivie devant les tribunaux domestiques se distinguait par son extrême simplicité. On interrogeait le prévenu, on entendait les témoins, on exhibait les pièces de conviction; puis le chef de la famille ou son intendant prononçait la sentence, et le châtiment suivait immédiatement la condamnation. C'était, dans toute la force des termes, une justice expéditive et sommaire; mais la peine, comme nous l'avons déjà dit, ne pouvait jamais dépasser la bastonnade [1].

La procédure était plus longue et plus solennelle devant les tribunaux ordinaires.

Redoutant les séductions et les piéges de l'éloquence, les juges égyptiens n'admettaient que l'instruction par écrit. « Les Égyptiens, dit Diodore, » étaient d'opinion que les avocats ne font qu'obscurcir les causes par leurs » discours, et que l'art de l'orateur, la magie de l'action et les larmes de » l'accusé entraînent souvent le juge à fermer les yeux sur la loi et la » vérité. Il n'est pas rare, en effet, de voir les magistrats les plus exercés » se laisser séduire par la puissance d'une parole trompeuse, visant à l'effet » et cherchant à exciter la compassion. Ils croyaient mieux juger une cause » en la faisant mettre par écrit et en la dépouillant des charmes de la » parole. De cette manière, les esprits prompts n'ont aucun avantage sur » ceux qui ont l'intelligence plus lente, les hommes expérimentés ne l'em- » portent pas sur les ignorants, ni les menteurs et les effrontés sur ceux qui » aiment la vérité et qui sont modestes. Tous jouissent de droits égaux. » On accorde un délai suffisant aux plaignants pour exposer leurs griefs, » aux accusés pour se défendre, aux juges pour se former une opinion [2]. » Les prêtres de Memphis, qui tenaient ce langage à l'historien d'Agyre, n'oubliaient que deux choses : d'un côté, les garanties sérieuses et incontestables qui résultent de la publicité même; de l'autre, ces lumières soudaines qui jaillissent si souvent d'un débat oral, habilement conduit sous les yeux de magistrats savants et expérimentés.

Le demandeur, ou le citoyen qu'il avait chargé de sa défense, rédigeait

[1] Voy. ci-dessus, p. 27.

[2] Diodore, liv. I, c. 75. Traduction de M. Hoefer. C'est à cette traduction que nous avons eu recours pour tous les passages de Diodore reproduits dans notre texte.

une plainte énumérant toutes les circonstances du fait, exposant toutes les preuves et se terminant par l'indication du dédommagement qu'il réclamait de la partie adverse et de la justice répressive. Le défendeur, prenant connaissance de cette plainte, répondait également par écrit à chaque chef d'accusation. Il niait le fait, ou, en l'avouant, il s'efforçait, soit de lui enlever son caractère criminel, soit de le dépouiller de la gravité que lui attribuait son adversaire. Le plaignant répondait, le défendeur répliquait à son tour, et les juges, après avoir ainsi reçu deux fois l'accusation et la défense écrites, délibéraient et rendaient un arrêt. Celui-ci était signifié par le président, en imposant l'image de la Vérité sur la tête de l'une des parties mises en présence. Celle qui recevait cet attouchement sacré obtenait gain de cause [1].

Avec un tel système de procédure, l'audience publique ne pouvait avoir d'autre but que la notification solennelle du résultat de la délibération préalable des juges. On y procédait, tout au plus, à la lecture des mémoires produits par les parties, et peut-être un officier subalterne était-il chargé de ce rôle [2]. Mais il faut avouer que la mise en scène imaginée par le législateur était de nature à produire une impression profonde sur des plaideurs qu'Hérodote proclamait avec raison « les plus religieux de tous les hommes[3]. » Trente prêtres vêtus de robes blanches, assis, les yeux baissés, au pied des images des dieux de l'Égypte ; le président, vieillard vénérable, descendant lentement les marches du tribunal et s'avançant seul, sans proférer une parole, vers le lieu où les parties, leurs conseillers et la foule attendaient, dans un silence religieux, la manifestation de la décision des juges ; l'innocence ou la culpabilité de l'accusé proclamée par la déesse

[1] Diodore, liv, I, c. 75.

[2] Le contraire semble résulter de la phrase suivante, qu'on rencontre dans le récit de Diodore : « Le président portait autour du cou une chaîne d'or à laquelle était suspendue une petite figure » en pierres précieuses, représentant la Vérité. Les débats commençaient au moment où le » président se revêtait de cet emblème (liv. I, c. 75). » Mais ce passage s'applique, non aux débats de l'audience, mais à ceux qui surgissaient entre les juges après la lecture des documents versés au procès. Toute autre interprétation est incompatible avec les détails circonstanciés que l'historien nous a transmis sur le système d'instruction judiciaire usité en Égypte.

[3] Liv. II, c. 37.

même de la vérité : tel était l'appareil auguste usité dans l'enceinte de l'aréopage suprême, et cette scène, on n'en saurait douter, se reproduisait, avec plus ou moins de solennité, dans tous les tribunaux du pays. Comme les dieux de l'Égypte, la justice nationale s'entourait de silence et de mystère, et ses décisions prenaient à certains égards la forme de l'oracle. Tout en présentant des inconvénients de plus d'une espèce, cette publicité muette avait une incontestable grandeur [1].

Mais on comprend sans peine que cette marche rapide de la procédure n'était possible que dans les cas, toujours et partout très-rares, où la vérité se manifestait à l'évidence, soit par les documents annexés à la plainte, soit par l'aveu du coupable. Quand la question de l'innocence ou de la culpabilité était enveloppée de nuages, quand l'accusé repoussait énergiquement les griefs articulés à sa charge, les juges de l'Égypte, comme ceux de tous les pays civilisés, devaient recourir à des investigations complémentaires. Malgré l'incohérence et la rareté des renseignements qui datent de cette époque éloignée, il est certain que les magistrats égyptiens connaissaient le serment, les enquêtes, la torture, la détention préventive et même « les jugements de Dieu. »

Les témoins, et probablement aussi les accusés, du moins dans certains cas, prêtaient serment de dire la vérité. On jurait en invoquant les dieux de la nation ; on jurait également par la tête ou la vie des rois, par les animaux sacrés, et même par les plantes qui, dans quelques districts, étaient vénérées comme des symboles de l'esprit universel dans la manifestation incessante de sa fécondité. Pour les habitants de la Thébaïde, le serment le plus redoutable consistait à jurer par le tombeau d'Osiris placé dans l'île sainte de Philœ. Ordinairement la cérémonie s'accomplissait dans un temple, et celui qui jurait se dévouait lui-même à la mort, s'il trahissait la vérité. Les Égyptiens étaient pénétrés de la sainteté du serment au point de croire que la divinité se hâtait de frapper elle-même l'auteur du parjure, quand il réussissait à se soustraire à la justice des hommes. Pour eux, comme pour les Hindous, les Juifs et tous les peuples de l'Orient en général, la violation

[1] Nous avons vu plus haut (p. 27) qu'un tout autre système avait été suivi pour le tribunal des sépultures. La procédure y était publique et orale.

du serment était non-seulement un crime, mais un sacrilége. Aux yeux d'une population aussi profondément religieuse que celle de l'Égypte, cette considération était décisive, et, comme nous le verrons bientôt, les lois nationales n'avaient pas hésité à punir le parjure du dernier supplice [1].

L'emploi de la question préparatoire par les magistrats des bords du Nil ne saurait être un seul instant révoqué en doute. Racontant l'histoire d'un vol sacrilége commis dans le temple d'Anubis, Lucien nous apprend que quelques-uns des voleurs, *torturés sur la roue,* firent des aveux complets [2]. Élien, voulant donner une idée fidèle du courage et de la constance inébranlable des Égyptiens, rapporte qu'ils mouraient plutôt dans les tourments que de révéler un secret [3]. Ammien-Marcellin raconte qu'il n'y a point de torture qui, dans la vallée du Nil, puisse arracher à un voleur l'aveu de son méfait [4]. Au Rhamesseum majestueux de Thèbes, on voit un tableau militaire, où des soldats égyptiens donnent la bastonnade à deux prisonniers ennemis, afin, porte la légende hiéroglyphique, de leur faire révéler ce que font les Scyto-Bactriens [5]. Ce dernier fait pourrait seul au besoin fournir une preuve convaincante de l'existence de la question préparatoire sur les rives du Nil, avant l'intronisation de la dynastie macédonienne des Lagides. On ne doit pas être très-versé dans l'histoire de l'antiquité, pour savoir que les peuples primitifs avaient l'habitude de faire subir aux malfaiteurs les traitements barbares auxquels ils soumettaient beaucoup trop souvent leurs prisonniers de guerre [6].

[1] *Genèse,* c. XLII, 15 et 16; Diodore, liv. I, c. 22 et 77; Pline, *Hist. nat.,* liv. XIX, c. 32; Isocrate, *Éloge de Busiris.* La croyance que la divinité punissait elle-même le parjure, en frappant le coupable dans l'une des parties de son corps, passa de l'Égypte en Italie, avec le culte d'Isis. Voy. Ovide, *De Ponto,* lib. I, ép. I, v. 51 et seq.; Juvenal, XIII, 92 et suiv. Ce dernier met les paroles suivantes dans la bouche d'un plaideur parjure : « Qu'Isis fasse de mon corps ce » qu'elle voudra. Dans sa fureur, qu'elle frappe mes yeux de son cistre, pourvu qu'au prix » même de mes yeux, je tienne ces écus dont je dénie le dépôt. » (Trad. de M. Coursaud.)

[2] *Toxaris ou l'amitié,* § 27.

[3] *Var. hist.,* liv. VII, c. 18.

[4] *Hist.,* liv. XXII, c. 16.

[5] Champollion le jeune, *Lettres écrites d'Égypte et de Nubie,* p. 265. — Peut-être devrait-on interpréter dans un sens identique l'ordre éventuel de Joseph, que l'auteur des *Antiquités judaïques* mentionne au c. 5, liv. II.

[6] Les prisonniers de guerre étaient employés dans les mines, confondus avec les malfaiteurs les

Parfois aussi, quand les autres preuves faisaient défaut, l'accusé était conduit dans un temple, où l'on soumettait le jugement de sa cause à la divinité du lieu. Cette espèce d'ordalie égyptienne n'était pas, comme les épreuves usitées dans l'Inde, et, plus tard, dans tous les pays civilisés de l'Europe, accompagnée de souffrances et de signes extérieurs. On ne connaissait ni le fer brûlant que le patient devait toucher de sa main nue, ni les chevalets et les roues qui disloquaient ses membres, ni même le combat singulier où Dieu était toujours censé se ranger du côté du plus fort ou du plus habile. Un oracle prononçait entre l'accusé et son adversaire. En réalité, c'était la classe sacerdotale qui fournissait, ici encore, les arbitres du litige et rendait la sentence sous une forme mystérieuse [1].

Les détails sur le mode et les conditions de l'arrestation préventive sont très-rares; mais nous savons cependant que les villes égyptiennes renfermaient de nombreuses prisons où les accusés étaient détenus avant de subir leur jugement [2]. On y trouvait même des prisons spéciales pour les prisonniers arrêtés par ordre du roi ou des hauts dignitaires de la couronne. La Genèse nous apprend que Joseph, soupçonné d'avoir voulu séduire la femme de son maître, fut enfermé parmi les prisonniers royaux, par ordre de Putiphar. Plus tard, Joseph lui-même, parvenu au faîte des grandeurs et de la puissance, envoie ses frères dans une prison publique, affectant de voir en eux des espions envoyés par les ennemis de l'Égypte [3]. Quelquefois, mais

plus dangereux du pays (Diodore, liv. III, c. 12). Tel était l'esprit de l'Orient. En Perse, où la mutilation était prodiguée dans les lois criminelles, on mutilait les prisonniers de guerre. (Quinte-Curce, *Hist. d'Alex.*, liv. III, c. 8; Justin, *Hist.*, liv. XI, c. 14; Diodore, liv. XVII, c. 69.) Nous pourrions citer une foule d'autres exemples. — Au dernier siècle, De Pauw niait l'existence de la question en Égypte avant l'établissement de la monarchie grecque. (T. II, p. 282; édit. citée.) Les découvertes faites au Rhamesseum de Thèbes écartent complétement ses objections.

[1] Hérodote, liv. II, c. 174. Souvent l'oracle se trompait et le coupable finissait par mépriser le Dieu qui ne savait pas découvrir la vérité. Amasis, grand voleur avant d'arriver au trône, avait été, à diverses reprises, soumis à cette épreuve. Plus d'une fois l'oracle le condamna; mais quelquefois il l'acquitta, quoique coupable. Devenu roi, il ne fit aucune attention aux dieux qui s'étaient trompés; tandis qu'il honorait grandement ceux qui l'avaient fait châtier comme il le méritait. C'étaient, à ses yeux, des divinités qui rendaient des oracles dignes de foi. (Hérodote, *ibid.*)

[2] Hérodote, liv. II, c. 114 et 115.

[3] *Genèse*, XXXIX, 20; XLI, 10; XLII, 17.

par exception, les prisonniers étaient gardés à vue dans une maison particulière [1].

Les prisons étaient souvent placées dans une citadelle, et, sous le rapport des souffrances qu'on faisait endurer aux détenus, leur régime intérieur pouvait rivaliser avec celles de l'Inde [2]. La Bible se borne à mentionner que les prisonniers étaient chargés de chaînes et devaient, comme sur les rives du Gange, laisser croître leurs cheveux et leur barbe [3]. Un passage de Josèphe nous permet d'ajouter qu'ils étaient astreints à des travaux généralement pénibles [4]. Mais ces détails incomplets trouvent un triste commentaire dans le récit des infortunes d'Antiphile, qui nous a été transmis par Lucien. Ici l'on rencontre des détails qui font frémir l'humanité. « Antiphile, dit Lucien, » tomba malade; il n'était guère possible qu'il ne le fût pas, gisant à terre et » n'ayant pas la faculté d'étendre, même la nuit, ses jambes prises dans un » cep. Le jour, il suffisait d'un carcan et de l'une de ses mains garrottée; la » nuit, on l'enchaînait tout entier. De plus, la puanteur du cachot, la cha- » leur étouffante par le nombre des prisonniers qu'on y avait entassés et qui » pouvaient à peine respirer, le bruit des fers, l'absence de sommeil, tout » cela était affreux, insupportable à un homme qui n'était ni familiarisé avec » ces horreurs, ni accoutumé à un genre de vie aussi rude [5]. » Les uns ont fait de ce triste tableau une œuvre de fantaisie; les autres, admettant le récit du philosophe grec, ont prétendu que cette inflexible rigueur, réservée à ceux qui, comme Antiphile, étaient accusés de sacrilége, n'existait pas pour les accusés ordinaires. Les uns et les autres ont oublié que ce déplorable système de réclusion formait en quelque sorte, dans ces âges reculés, le droit commun des nations civilisées. Quand même les lamentables aventures d'Antiphile devraient être rangées parmi les mythes populaires, nous ne serions pas en droit d'affirmer que Lucien a calomnié l'Égypte dans la description du

[1] Plutarque, *Agis et Cléomène*, c. LXVI.

[2] Voy., pour les prisons de l'Inde, dans les *Bullet. de l'Acad.*, notre travail sur *le Droit criminel dans les livres sacrés de l'Inde.* (T. XVIII, 2e sér.)

[3] *Genèse*, XLII, 19; XLI, 14.

[4] *Antiq. jud.*, liv. II, c. 5. Le récit de Josèphe renferme la phrase suivante : « ... Comme dans les heures où l'on permet aux prisonniers *de prendre quelque repos...* »

[5] *Toxaris ou l'Amitié*, § 29; t. II, p. 25, trad. de Talbot.

régime intérieur de ses maisons de détention; car, sans en excepter l'Europe, on rencontrait encore, au commencement du dernier siècle, une foule de prisons qui pouvaient entrer en comparaison avec celle dont le philosophe de Samosate nous a révélé les mystères. Il importe cependant d'ajouter que les membres des classes élevées de la société égyptienne n'étaient pas traités comme les détenus vulgaires. Les prisonniers d'État se trouvaient soumis à un régime beaucoup plus tolérable. Ceux-ci pouvaient se faire servir dans leurs prisons, et la Bible nous apprend que Joseph fut chargé de remplir cet office auprès de l'échanson et du pannetier de la cour d'Apophis auxquels il prédit leur destinée. Mais ces détenus privilégiés formaient nécessairement une faible exception. Joseph lui-même, quoique placé parmi les prisonniers royaux, fut d'abord chargé de chaînes et astreint à un rude travail [1].

Ces rigueurs exagérées avaient probablement amené en Égypte une institution qu'on rencontre au moyen âge chez une foule de peuples chrétiens. Il y avait sur les bords du Nil des enceintes inaccessibles aux agents de la puissance publique, de véritables lieux d'asile où les accusés se trouvaient à l'abri de la justice des hommes. Ceux qui se réfugiaient dans le temple de Thoth, placé à l'embouchure canopienne du fleuve, devenaient inviolables, s'ils se donnaient au Dieu et recevaient des prêtres l'empreinte des stigmates sacrés [2]. Plusieurs siècles après, sous la dynastie grecque des Ptolémées, il suffisait de se réfugier aux pieds de la statue du roi, pour rendre illusoires toutes les tentatives de ses persécuteurs [3].

[1] *Genèse*, XXXIX, 20; XL, 4, comb. avec le récit de Josèphe, *Antiq. jud.*, liv. II, c. 5. Le marquis de Pastoret, se fondant sur les mots *Princeps carceris* du v. 21 du c. XXXIX de la *Genèse*, suppose qu'il y avait en Égypte une sorte de surintendant des prisons. L'ensemble du texte prouve que ce fonctionnaire était tout simplement le geôlier. Une vaste administration des prisons, organisée dans des vues de régularité administrative, n'apparaît que dans les temps modernes. — Dom Calmet, dans la *Dissert. sur les supplices chez les Hébreux*, qui précède son commentaire du Deutéronome, fait de l'office de « Maître des prisons » un emploi considérable chez les Égyptiens. Il attribue cet emploi à Putiphar, le maître de Joseph. Il se trompe comme le marquis de Pastorêt. En sa qualité de *Princeps militum*, Putiphar avait une prison royale dans l'enceinte de sa résidence, mais cette prison avait un chef particulier. (*Genèse*, XXXIX, 21.)

[2] Telle est du moins la conclusion qu'on peut légitimement déduire du récit d'Hérodote, liv. II, c. 113.

[3] Pline, *Hist. nat.*, liv. XXII, c. 10.

Tels sont les renseignements insuffisants que nous possédons sur le système d'instruction criminelle en vigueur dans l'antique vallée du Nil. A défaut de témoignages explicites et complets, le jurisconsulte doit imiter ici le travail de l'archéologue, mis en présence des débris épars des mosaïques somptueuses qui ornaient les palais et les temples de l'Italie romaine. Réunissant pieusement les pierres dispersées, il s'efforce de leur rendre la place qu'elles occupaient dans le plan conçu et exécuté pár l'artiste, et là où les pierres mêmes ont disparu, il en appelle à la raison et à l'imagination pour combler les lacunes.

On se trouve malheureusement réduit à la même nécessité pour le catalogue des délits et des peines dont nous allons nous occuper.

III.

LES DÉLITS ET LES PEINES.

Parmi les lois pénales proprement dites, on voyait figurer en première ligne les dix livres sacrés, que Clément d'Alexandrie appelle sacerdotaux, mais que la plupart des savants modernes désignent sous la dénomination de *Livres des Prophètes*, parce qu'ils étaient spécialement confiés à la garde de ces dignitaires élevés du sacerdoce égyptien. Il est probable que ces livres, indépendamment des principes fondamentaux de la législation civile et criminelle, contenaient un catalogue de délits et de peines; mais, en tout cas, on peut hardiment affirmer que leurs pages, quelque nombreuses qu'on veuille les supposer, ne renfermaient pas toutes les règles que les juges criminels étaient tenus de suivre dans l'exercice de leurs importantes fonctions.

L'histoire nous a conservé les noms de plusieurs législateurs célèbres, dont les décrets, accueillis avec une vénération profonde, demeurèrent obligatoires pendant une longue série de siècles. Mnévis fit comprendre aux Égyptiens les avantages d'une soumission absolue à des lois écrites qu'il disait avoir reçues des mains d'Hermès. Sasychès y ajouta de nombreuses prescriptions,

principalement applicables aux matières religieuses. Sésoosis (Rhamsès II?), auteur d'une législation spéciale pour la classe des guerriers, s'occupa des exigences de la guerre, de la marche et des subsistances des armées. Bocchoris (Menephthah IV?), après avoir établi des lois sur l'exercice de la souveraineté, régla les conditions, la forme et l'exécution des contrats. Amasis fit des ordonnances sur le gouvernement des nomes et l'administration intérieure du pays. Darius, le fils de Xercès, qui montra toujours une déférence extrême pour les croyances et les mœurs des nations soumises à son sceptre, était lui-même cité parmi les législateurs les plus éclairés et les plus aimés de l'Égypte [1]. Ajoutons que les Pharaons et leurs successeurs, investis d'un pouvoir absolu, usaient fréquemment du droit d'ajouter aux textes existants des dispositions nouvelles. Dès l'instant qu'ils prenaient, à l'égard des livres révélés d'Hermès, l'attitude que les despotes de l'Inde brahmanique devaient conserver à l'égard des livres révélés de Manou; en d'autres termes, aussi longtemps qu'ils ne s'écartaient pas des bases essentielles du droit national, aucun reproche ne pouvait leur être adressé. Les rares débris des annales égyptiennes qui sont parvenus jusqu'à nous fournissent de nombreux exemples d'ordonnances royales promulguées à toutes les époques. Pour ne citer qu'un fait, à Silsilis une stèle gravée s'exprime ainsi sur le compte de Rhamsès V : « Il a rempli les temples des dieux des travaux de son nom. *Il* » *a satisfait les dieux par de bonnes lois.* Il a remis dans toutes les condi- » tions, comme ils étaient auparavant, les grands et les petits, pleins de » joie, acclamant son nom [2]. » Sous la dynastie des Lagides, les lois étaient devenues tellement nombreuses que Ptolémée Lagus chargea Démétrius de Phalère d'un vaste travail de codification, ayant probablement plus d'un rapport avec celui qui, huit siècles plus tard, fut ordonné pour les lois romaines par l'empereur Justinien [3].

[1] Diodore, liv. I, c. 94; Bunsen, *Ægyptens Stelle in der Weltgeschichte*, t. I, p. 188; t. II, pp. 48, 55, 88, 145, 527; T. V[a], p. 366. En admettant qu'une partie de ces noms sont mythiques, on n'en doit pas moins reconnaître l'existence du fait important d'une succession de législateurs dans la vallée du Nil.

[2] De Rougé, *Journal asiastique*, 5[e] série, t. XII, p. 238 (1858).

[3] Élien, *Var. hist.*, liv. XVII, c. 17; Diogène Laerce, *Vit. phil.*, liv. V, segm. 75 et suiv., édit. Westrenius.

Diodore de Sicile rapporte qu'on plaçait devant les juges « huit volumes contenant toutes les lois de l'Égypte [1]. »

L'historien, commettant ici une erreur quant au nombre, a-t-il voulu parler des dix *Livres des Prophètes?* Mieux informé que nous, savait-il que, parmi ces dix livres sacrés, il y en avait huit spécialement consacrés à la législation civile et criminelle? Son intention était-elle de désigner huit recueils spéciaux renfermant, outre les préceptes d'Hermès, toutes les ordonnances subséquentes des législateurs égyptiens? Ces questions, d'ailleurs dépourvues d'importance réelle pour les annales du droit, ne seront peut-être jamais complétement résolues; mais, quelle que soit l'opinion qu'on adopte, il faudrait bien peu connaître l'histoire de l'Égypte, pour ne pas savoir que les actes incriminés étaient excessivement nombreux sur la terre des Pharaons. Quand le législateur érige en système inflexible la prétendue nécessité de régler par la loi tous les actes de la vie publique et de la vie privée des citoyens; quand il veut sanctionner par des peines sévères les prescriptions minutieuses d'un culte qui ne laisse rien en dehors de son influence, depuis le berceau jusqu'à la tombe de l'homme; en un mot, quand il se croit obligé de tout prévoir et de tout régler, le catalogue des délits et des peines, là surtout où les masses sont privées de garanties politiques, prend inévitablement de vastes proportions. Or, cette exagération du patronage administratif de l'État, cette crainte excessive des empiétements et des écarts de la liberté individuelle, se manifestent, à la dernière évidence, dans toutes les phases de la civilisation égyptienne. Nous savons par Platon que même la peinture, la sculpture, les chants et les danses étaient réglés par des lois immuables. Celui qui voulait introduire des danses ou des chants nouveaux pouvait être traduit devant les tribunaux comme coupable d'impiété [2]!

Malheureusement, ici encore le temps a largement exercé ses ravages; tous les recueils des lois égyptiennes ont disparu, et, malgré les investigations souvent fructueuses des savants modernes, on doit, presque toujours, comme nous l'avons déjà dit, se contenter de l'examen d'un certain nombre

[1] Liv. I, c. 75.

[2] Voy. la note 1 de la p. 8. Il est vrai que les chants usités dans les cérémonies religieuses et civiles étaient attribués à Isis. (Platon, *Lois*, liv. II, p. 85; trad. de M. Cousin.)

de faits épars et de règles parfois divergentes, disséminés dans les écrits d'historiens et de philosophes appartenant à divers âges littéraires de l'antiquité. Le peuple dont tous les efforts tendaient à éterniser le souvenir de ses exploits, en même temps que le tableau majestueux de sa vie religieuse et politique, est précisément celui dont les institutions et les lois donnent lieu aux controverses les plus nombreuses et les plus difficiles à résoudre.

De même que chez toutes les nations de l'antiquité, on trouvait, dans l'échelle pénale admise en Égypte, la distinction de la mort simple et de la mort rendue plus ou moins affreuse par le mode de son exécution. La première consistait dans la pendaison et la décollation [1]. Parmi les exemples de la seconde, nous rencontrons le bûcher, la mise en croix et le supplice asiatique des cendres. Il est même probable que les rois et les juges avaient l'habitude d'infliger au condamné toutes les souffrances accessoires qu'ils croyaient requises par la nature du crime ou les exigences de l'opinion publique. Contrarié dans ses passions brutales et soupçonnant la reine d'avoir eu recours à des maléfices, Amasis dit à Laodice : « Femme, tu as usé avec » moi de sortiléges, et il n'existe aucun moyen de te soustraire *à la mort* » *la plus affreuse que jamais femme ait subie* [2]. » Ce n'est pas à ces siècles lointains qu'il faut demander la proscription absolue des peines arbitraires.

Le supplice du feu existait pour le parricide. On commençait par faire subir une peine *expressive* aux membres qui avaient spécialement servi à l'accomplissement du crime. Le bourreau pratiquait avec des joncs aigus plusieurs incisions aux mains du coupable, et son sang répandu au pied du bûcher constituait une première expiation. On lui liait ensuite les bras et les jambes, et on le brûlait vif sur un feu d'épines. Ce bois, qui perçait sa chair en même temps qu'elle était atteinte par les flammes, renfermait un autre symbolisme. Elle désignait la malveillance et la dureté du cœur de l'homme assez dénaturé pour porter la main sur les auteurs de ses jours [3]. Un système

[1] Le chap. XL de la *Genèse* nous montre le grand pannetier de la cour d'Aphophis suspendu à une potence et son cadavre abandonné aux oiseaux. — On verra plus loin des exemples de la décollation.

[2] Hérodote, liv. II, c. 181.

[3] Diodore, liv. I, c. 77. Terrasson, dans sa traduction, dit à tort qu'on faisait des incisions

tout différent était suivi à l'égard des parents qui versaient le sang de leurs fils. Au lieu de leur infliger la peine capitale, on les forçait de tenir embrassés, pendant trois jours et trois nuits, les corps de leurs enfants, et une garde nombreuse ne leur permettait pas de se soustraire, un seul instant, à cette horrible étreinte. « Il ne semblait pas juste, dit Diodore, d'ôter la vie à ceux » qui l'avaient donnée à leurs descendants, et on croyait leur causer par ce » châtiment assez de chagrin et de repentir pour les détourner de semblables » crimes [1]. » Il serait difficile, en effet, d'imaginer un châtiment à la fois plus terrible et plus exemplaire. Liés aux cadavres de leurs victimes, chargés des outrages et des imprécations de la foule, bourrelés de remords et de honte, flétris à jamais par cette épouvantable exposition, les coupables, sous le climat brûlant de l'Égypte, voyaient rapidement apparaître, sur les traits de leurs fils assassinés, les affreux ravages d'une mort qui était leur œuvre!

Dans les mœurs patriarcales d'une grande partie de l'Orient, la mort par le feu formait la répression de l'adultère de la femme. Nous lisons dans la Genèse : « Après trois mois, on vint dire à Juda, fils de Jacob : Ta bru » Thamar a commis un adultère, elle est même enceinte. Et Judas dit : Faites- » la sortir, et qu'elle soit brûlée [2]. » Le même système régnait dans la législation primitive de l'Égypte. Le fils de Sésostris fit brûler, avec le village où il les avait enfermées, une troupe nombreuse de femmes qu'il croyait avoir manqué à la foi conjugale [3]. Nous verrons que plus tard on se montra moins sévère.

Le supplice de la croix, peut-être introduit sous la domination des Perses, était surtout infligé aux traîtres et aux rebelles. Inaros, l'un des descendants des rois nationaux de l'Égypte, fut attaché à trois croix, par ordre d'Ar-

aux doigts du parricide. Miot se trompe à son tour en traduisant : « On leur coupait un morceau de chair de la longueur d'un doigt. » Nous préférons suivre la version de M. Ferdinand Hoefer.

[1] Diodore, liv. I, c. 77. Les Égyptiens n'admettaient pas cette honteuse tolérance de l'infanticide qui souillait la législation de plusieurs peuples de l'antiquité. « Les parents, dit Diodore, » sont obligés de nourrir tous leurs enfants, afin d'augmenter la population, qui est regardée » comme contribuant le plus à la prospérité de l'État. (Liv. I, c. 80.) »

[2] *Genèse*, c. XXXVIII, 24.

[3] Hérodote, liv. II, c. 111.

taxerxès [1]. La mort même ne faisait pas échapper le coupable à l'infamie de cette peine. Cléomène, roi de Sparte, réfugié à Alexandrie, étant tombé les armes à la main, dans une émeute dirigée contre Ptolémée Philopator, celui-ci ordonna que le cadavre de son hôte fût mis en croix et que sa famille entière périt par le glaive [2]. Après le décès prématuré du prince égyptien que nous venons de citer, on mit en croix sa maîtresse Agatoclie et la mère de celle-ci, OEnanthe [3].

Nous ne pouvons pas invoquer un texte formel à l'appui de l'existence en Égypte du supplice asiatique des cendres; mais plusieurs expressions employées par Hérodote nous permettent de supposer que ce genre de peine n'y était pas inconnu. Après avoir raconté que la reine Nitocris commit plusieurs crimes pour venger l'assassinat de son frère, Hérodote ajoute : « Les » prêtres m'ont raconté qu'elle se jeta dans une chambre pleine de cendres. » Cette chambre n'était-elle pas le lieu destiné à l'exécution des individus condamnés à cette étrange pénalité [4]?

La peine de mort, sans autre désignation, se trouve mentionnée pour le sacrilége, le meurtre, la violation des lois sur l'art de guérir, le parjure, la dénonciation calomnieuse, le rapt et même, dans certains cas, pour le mensonge.

Chez un peuple aussi superstitieux que les Égyptiens, le sacrilége ne pouvait manquer d'être rangé au nombre des crimes capitaux. Le dernier sup-

[1] Fragment de Ctésias reproduit dans la *Bibliotheca* de Photius, p. 122; édit. d'Étienne, 1612. Comp. Thucydide, *Guerre du Péloponèse*, liv. I, c. 110. — L'origine persane du supplice infligé à Inaros est manifeste. Plutarque (*Artaxercès*, c. XIX) rapporte que Parysatis fit étendre le corps de Mésabate en travers sur trois croix.

[2] Plutarque, *Agis et Cléomène*, c. LXX.

[3] Justin, *Hist. univ.*, liv. I, c. 2. C'est du moins dans ce sens que Juste Lipse (*De cruce*, liv. I, c. II) entend ces mots de Justin : *Mulieres patibulis suffiguntur.*

[4] Hérodote, liv. II, c. 100. Giguet traduit ainsi : « Elle se jeta dans une chambre pleine de » cendres, afin d'échapper au châtiment. » Larcher, à notre avis, rend mieux la pensée de l'historien grec, en disant : « Elle se jeta dans une chambre remplie de cendres, afin d'échapper » à la vengeance du peuple. » Évidemment Nitocris redoutait un traitement plus affreux que celui auquel elle se condamnait elle-même.

Mais si le supplice des cendres existait déjà en Égypte sous le règne de Nitocris, il faut renoncer à attribuer son invention à Darius II (Ochus.). Nous avons parlé du supplice des cendres dans notre travail sur le droit criminel de l'Inde. (*Bull. de l'Acad.*, 2e série, t. XVIII.) M. Bunsen fait de Nitocris le dernier personnage de la sixième dynastie. (*Ægyptens stelle in der Weltgeschichte*, t. III, p. 242; édit. de 1845.) D'autres en font une reine mythique.

plice était infligé à celui qui tuait volontairement un animal consacré à l'une des divinités du pays, ou, même involontairement, un ibis, un chat ou un épervier. Dans ce dernier cas, l'horreur inspirée par le crime était telle que le peuple n'attendait pas toujours la condamnation du coupable; il se précipitait sur lui pour le mettre en pièces [1]. La peine de mort atteignait également le prêtre qui se nourrissait de mets interdits [2], l'indiscret qui révélait le lieu de la sépulture du bœuf Apis [3], l'impie qui osait dire que Sérapis avait été un homme [4], l'imprudent qui offrait en sacrifice, soit des vaches ou des génisses, soit, parmi les autres animaux, ceux que les prêtres n'avaient pas marqués de l'empreinte du sceau sacré [5]. On peut même affirmer sans crainte que tous ces cas étaient simplement énonciatifs, et que le sacrilége, quelle que fût sa nature, avait toujours pour expiation la perte de la vie de son auteur. Là où les habitants de deux districts populeux se firent une guerre terrible pour la mort d'un chien [6]; où, même sous la dynastie européenne des Lagides et malgré la formidable puissance de Rome, les supplications d'un roi ne purent arracher des mains de la populace un légionnaire coupable d'avoir, peut-être involontairement, tué un chat [7]; là où les prescriptions de la loi religieuse présidaient souverainement à tous les actes de la vie publique et de la vie privée, une peine autre que la mort devait paraître insuffisante pour réparer

[1] Hérodote, liv. II, c. 65. Diodore, liv. I, c. 83. Cicéron, *Tusculanes*, liv. V, c. 27. Parmi les animaux dont le meurtre involontaire entraînait la peine de mort, Hérodote cite l'ibis et l'épervier; Diodore, l'ibis et le chat; Cicéron, l'ibis, l'aspic, le chat, le chien et le crododile. — Le marquis de Pastoret (*Hist. de la législ.*, t. II, p. 270) se trompe en disant que la loi punissait de mort celui qui tuait, de dessein prémédité, un animal, quel qu'il pût être. Les textes cités prouvent, à la dernière évidence, qu'il ne s'agit ici que des animaux réputés sacrés.

[2] Porphyre, *De Abstin.*, lib. II, c. 3.

[3] Arnobe, *Contra gentes*, liv. VI, c. 6, p. 1176; édit. Migne.

[4] Augustinus, *De civ. Dei*, lib. XVIII, c. 5.

[5] Hérodote, liv. II, c. 38 et 41. Suivant Castor, ce sceau représentait un homme à genoux, les mains derrière le dos, avec une épée dont la pointe était dirigée sur sa gorge. (Plutarque, *Traité d'Isis et d'Osiris*, t. V, p. 349 de la traduction de Ricard.) — Hérodote motive la prohibition de sacrifier les génisses et les vaches en disant que ces animaux étaient consacrés à Isis. Pastoret (*Histoire de la législation*, t. II, p. 265) et De Pauw (*Recherches sur les Égyptiens*, etc., part. I, sect. 3) prouvent que la défense avait pour origine les intérêts de l'agriculture. C'était déjà l'opinion de Porphyre (*De Abstin.*, lib. II, c. 11).

[6] Plutarque, *Traité d'Isis et d'Osiris*, t. V, p. 390, de la trad. de Ricard.

[7] Diodore, liv. I, c. 83. L'historien avait été le témoin oculaire du fait.

les atteintes portées à la majesté du culte national. L'accusation de sacrilége était redoutée au point que l'homme qui rencontrait le cadavre d'un animal sacré se tenait à distance, en poussant de grandes lamentations et en protestant de son innocence [1].

A côté de la vénération aussi profonde que superstitieuse qu'ils nourrissaient à l'égard de leurs dieux, les Égyptiens montrèrent toujours un grand respect pour la vie de leurs concitoyens. Les cadavres mêmes étaient protégés par un sentiment élevé de la dignité de l'homme. Quand le parachiste [2], au début des opérations de l'embaumement, avait ouvert le flanc gauche du mort, il se sauvait en toute hâte, poursuivi par les assistants qui lui lançaient des pierres et proféraient des imprécations, comme pour attirer sur lui la vengeance de *ce crime;* « car, dit Diodore, les Égyptiens avaient » en horreur celui qui violait le corps d'un des leurs, en le blessant ou en » exerçant quelque autre violence [3]. »

De tels sentiments suffisaient pour indiquer au législateur l'attitude qu'il avait à prendre à l'égard des meurtriers. Tout homicide volontaire était puni de mort, et même, dans cet ordre d'idées, les Égyptiens devancèrent considérablement leurs contemporains. On ne faisait aucune distinction entre le citoyen et l'étranger, entre l'homme libre et l'esclave. Non-seulement le complice subissait, dans tous les cas, la même peine que l'auteur principal, mais on regardait comme tel celui qui, voyant un homme aux prises avec un assassin, ne le secourait pas quand il en avait le pouvoir. S'il se trouvait dans l'impossibilité absolue de venir en aide à la victime, il devait au moins dénoncer l'agresseur et le traduire devant les tribunaux. S'il ne le faisait pas, il était condamné à recevoir un nombre déterminé de coups de verges, outre la privation de toute nourriture pendant trois jours [4]. La vie humaine se trouvait protégée autant que le permettait l'action de la justice criminelle. Les citoyens, pour nous servir d'une expression employée par Bossuet, étaient à la garde les uns des autres, et tout le corps de l'État était uni contre

[1] Diodore, *ibid.*, c. 83. D'après les croyances populaires, les dieux mêmes frappaient le sacrilége quand il échappait à la vindicte des lois humaines. (Hérodote, liv. II, c. 111.)

[2] Παρασχίστης, inciseur.

[3] Diodore, liv. I, c. 91.

[4] Diodore, liv. I, c. 77.

les méchants [1]. Aussi, frappé de ce spectacle, si rare dans l'antiquité, Diodore fit cette réflexion profonde : « En Égypte, les lois frappent, non d'après » les différences de fortune, mais d'après l'intention du malfaiteur; en même » temps, par les ménagements dont on use envers les esclaves, on les en- » gage à ne jamais porter la main sur un homme libre. » En effet, par le respect qu'on professait pour sa propre vie, on apprenait à l'esclave, mieux que par tout autre moyen, à respecter celle de ses maîtres.

Peut-être devait-on à la même sollicitude l'admission de la peine capitale pour la violation des lois sur l'art de guérir. Toujours poussés par cet amour extrême de la réglementation qu'ils manifestaient dans tous les détails de la vie sociale, les maîtres de l'Égypte n'avaient eu garde d'abandonner l'exercice de la médecine aux efforts, aux expérimentations et aux convoitises de l'intérêt privé. Les médecins étaient des fonctionnaires publics entretenus aux frais du corps social, et chacun d'eux ne pouvait s'occuper que d'une seule espèce d'infirmités [2]. Ils devaient traiter leurs malades d'après des préceptes écrits, rédigés par d'anciens médecins célèbres et que les prêtres avaient consignés dans quelques-uns de ces recueils mystérieux attribués à Hermès. Si, en suivant ces préceptes, ils ne parvenaient pas à sauver le malade, ils étaient déclarés exempts de tout reproche; si, au contraire, ils avaient agi contrairement aux indications des livres sacrés, ils pouvaient, en cas d'insuccès, être accusés et condamnés à mort. Toujours partisan de l'immobilité, le législateur avait cru que peu de gens trouveraient une méthode curative meilleure que celle qui, pendant une longue série d'années, avait obtenu les suffrages des praticiens les plus distingués [3]. N'oublions pas, d'ailleurs, que la médecine appartenait à la classe des sciences religieuses, et qu'Isis elle-même était censée avoir contribué à la rédaction des six livres du Trismégiste consacrés à l'art de guérir. Le dédain ou l'oubli des remèdes tradition-

[1] *Discours sur l'histoire universelle*, 3e part., art. 3.

[2] Hérodote dit : « Les médecins foisonnent, les uns pour les yeux, d'autres pour la tête, d'autres pour les dents, d'autres pour le ventre, d'autres pour les maux internes (liv. II, c. 84). Les accouchements étaient faits par des femmes. (*Exode*, I, v. 15 et suiv.)

[3] Diodore, liv. I, c. 82. — Dans l'Inde brahmanique, le médecin qui exerçait mal son métier était puni d'amende (*Lois de Manou*, liv. IX, 284); mais, d'après la loi de Zoroastre, il devait être coupé par morceaux. (*Vendidad-Sadé*, Fargard VII, 98-101.)

nels participait ainsi, à certains égards, de la nature du sacrilége [1]. Au surplus, la règle indiquée par Diodore ne doit pas être exagérée. Le médecin n'était pas absolument privé du droit de suivre ses inspirations personnelles; seulement, en procédant de la sorte, il agissait à ses risques et périls et, si le résultat ne répondait pas à son attente, l'initiative courageuse qu'il avait prise se transformait en crime. D'un autre côté, les termes employés par l'historien permettent de supposer que la peine capitale n'était comminée que dans la seule hypothèse où le malade avait succombé. Aristote nous apprend que la loi, c'est-à-dire les livres d'Hermès, défendait aux médecins égyptiens de purger leurs malades avant le quatrième jour du traitement. Si la violation de cette règle avait été punie de la perte de la vie, le philosophe de Stagyre, toujours si exact et si complet dans ses allégations, n'eût certainement pas manqué d'en faire la remarque [2].

Dans une autre catégorie d'infractions, le parjure était puni de mort, parce qu'on y voyait la réunion de deux crimes énormes, l'un contre les dieux, l'autre contre les hommes. Le coupable manquait de piété envers les dieux dont il osait invoquer et braver le témoignage; il portait atteinte à la bonne foi, qui doit servir de fondement aux relations sociales. Ici encore, la législation de l'Égypte se trouvait en parfaite harmonie avec les tendances de l'opinion publique. Nous avons vu que les croyances populaires faisaient apparaître la divinité elle-même, quand l'auteur du parjure réussissait à se soustraire à la justice de son pays [3].

Celui qui intentait une accusation calomnieuse était également puni de mort, si cette peine frappait le crime qu'il imputait à son adversaire [4]. Le même supplice était comminé contre l'Égyptien qui gagnait sa vie par des

[1] Diodore, liv. I, c. 25. Clément d'Alexandrie, *Stromates*, liv. VI, c. 4. Les livres d'Hermès consacrés à la médecine étaient au nombre de six, divisés de la manière suivante : la structure du corps humain, les maladies en général, les instruments, les remèdes, les maladies des yeux, les maladies des femmes. (Clément d'Alexandrie, *ibid.*)

[2] Aristote, *Politique*, liv. III, c. 10, § 4, p. 180 de la trad. de Barthélemy Saint-Hilaire. A cette occasion, Aristote fait observer que c'est déraisonner que de vouloir soumettre une science, quelle qu'elle soit, à l'empire d'une lettre morte.

[3] Diodore, liv. I, c. 77, et ci-dessus, p. 33.

[4] Diodore, liv. I, c. 77. C'est le seul cas où l'on trouve l'application du système du talion dans les fragments de législation égyptienne qui sont parvenus jusqu'à nous.

moyens illicites, et contre celui qui commettait un mensonge dans la déclaration de ses moyens d'existence, que tous les habitants, au commencement de l'année, étaient obligés de déposer entre les mains des magistrats de leur domicile [1]. On procédait de la même manière à l'égard de l'auteur d'un rapt. Le roi dont le nom traduit en grec correspondait, au dire d'Hérodote, à celui de Protée, dit au ravisseur d'Hélène : « Parce que je crois qu'il importe » beaucoup *de ne mettre à mort* aucun étranger, tu vivras; mais je ne te » permettrai d'emmener ni cette femme, ni ses trésors. Pour toi et tes com- » pagnons, je vous ordonne d'aller, sous trois jours, de ce pays en n'im- » porte quel autre, sinon vous serez traités en ennemis [2]. » Un Égyptien, dans la position d'Alexandre, eût donc été condamné à mort.

A ces diverses espèces nous pouvons ajouter la désobéissance aux ordres émanés du trône. Les rois d'Égypte, possédant un pouvoir absolu, faisaient parfois de la mort la sanction des édits qu'ils adressaient à leur peuple. Le Pharaon qui avait projeté l'anéantissement des Juifs établis sur son territoire ordonna aux parents, sous peine de la perte de la vie, de déclarer la naissance de tous leurs enfants mâles [3].

[1] Diodore, liv. I, c. 77; Hérodote, liv. II, c. 177. Diodore dit que cette déclaration devait être faite par écrit entre les mains des magistrats. Hérodote, plus positif, affirme qu'elle devait être remise au nomarque lui-même.

Cette obligation, si peu compatible avec la dignité et la liberté du citoyen, avait pour but la proscription du vagabondage et de la paresse; elle était d'ailleurs nécessaire dès l'instant où l'on transformait en crime capital le fait de vivre de gains illicites. — Hérodote dit que cette loi fut apportée à Athènes par Solon; mais d'autres écrivains de l'antiquité l'attribuent à Dracon et affirment que Solon transforma la peine de mort en déclaration d'infamie, contre ceux qui y contrevenaient trois fois. Une première contravention n'était punie que d'une amende de cent drachmes. Voy. Harpocration, aux mots Ἀργίας δίκη; Plutarque, *Vie de Solon;* Larcher, *Traduction d'Hérodote*, notes, t. II, p. 515. En tous cas, si Solon a eu connaissance de la loi égyptienne, il est impossible d'attribuer celle-ci à Amasis, successeur d'Apriès, comme le font Hérodote et Diodore. Amasis régna de 569 à 526 avant J.-C., et Solon naquit en 638. Il faudrait alors remonter jusqu'à Amasis ou Amôsis, le vainqueur des Hycsos et le chef de la dix-huitième dynastie (Aahmès). Cette loi daterait donc du dix-septième siècle avant l'ère chrétienne.

[2] Hérodote, liv. II, c. 115; traduct. de Hignet. C'est à cette traduction que nous avons emprunté tous les fragments d'Hérodote que nous avons reproduits. — D'après Bunsen, *Ægyptens stelle*, etc., t. IV, p. 257, Protée était l'un des Rhamsès de la vingtième dynastie.

[3] Josèphe, *Antiq. jud.*, liv. II, c. 5. Il n'en était pas toujours ainsi. Dans le célèbre édit rendu pour l'affranchissement des Juifs, Ptolémée se borne à comminer la confiscation des biens à charge des contrevenants. Josèphe, *ibid.*, liv. XII, c. 2, § 2.

Ici doivent se placer deux remarquables fragments de la *Bibliothèque historique* de Diodore de Sicile. Parlant du règne du conquérant éthiopien Actisanès, l'historien s'exprime ainsi : « Actisanès se conduisit humainement » dans la prospérité, il traita ses sujets avec bonté. Il se comporta d'une » manière singulière à l'égard des brigands; il ne condamna pas les coupables à mort, mais il ne les laissa pas non plus entièrement impunis. » Réunissant tous les accusés du royaume, il prit une exacte connaissance » de leurs crimes; il fit couper le nez aux coupables, les renvoya à l'extrémité du désert, et les établit dans une ville qui, en souvenir de cette » mutilation, a pris le nom de *Rhinocolure* [1]. » Quelques pages plus loin, s'occupant du règne de Sabacon (Sevekh I), il ajoute : « On peut citer, » comme une preuve de l'humanité de ce prince, l'abolition de la plus » grande des peines, la peine de mort. Il obligeait les condamnés à mort de » travailler, *tout enchaînés*, aux ouvrages publics. C'est par ce moyen qu'il » fit construire de nombreuses digues et creuser beaucoup de canaux utiles. » Il réalisait ainsi l'idée de diminuer, à l'égard des coupables, la sévérité » de la justice, et de faire tourner une peine inutile au profit de la société [2]. » Si Actisanès, en reléguant les coupables dans un lieu désert, parvint à fonder une ville nouvelle; si Sabacon, en employant aux travaux publics les seuls condamnés à mort, réussit à faire construire de nombreuses digues et creuser beaucoup de canaux utiles, il en résulte évidemment que les condamnations capitales étaient très-fréquentes en Égypte. Peu importe que ces deux traditions nationales soient ou non dépourvues d'authenticité; par cela seul que l'historien les accueille, il avoue que les crimes capitaux mentionnés dans son récit ne sont qu'un petit nombre d'espèces détachées d'une liste infiniment plus longue. Il constate en outre que, même sous la domination lointaine des Pharaons, on trouvait déjà des esprits généreux qui doutaient de l'efficacité de la peine de mort. A la vérité, le large système de commutation introduit par Saba-

[1] Liv. I, c. 60, et ci-dessus, p. 11.

[2] Liv. I, c. 65. Ce dernier passage trouve sa confirmation dans un récit d'Hérodote. (Liv. II. c. 137.) On n'y remarque qu'une seule différence. Hérodote affirme que Sabacon faisait travailler les condamnés à l'exhaussement du sol de leurs villes natales, entreprise éminemment utile dans un pays sujet à des inondations périodiques.

con [1], ne fut pas maintenu par ses successeurs, et les exécutions restèrent fréquentes en Egypte sous toutes les dynasties, jusqu'à l'apparition des aigles romaines.

Quelques faits rapportés par l'Écriture sainte, par Josèphe, par Plutarque et par Diodore, nous autorisent à croire que ces exécutions étaient publiques. Le grand pannetier de la cour d'Apophis fut suspendu à une potence et son cadavre livré aux oiseaux [2]. Les femmes de la famille et de la suite de Cléomène, condamnées à périr par ordre de Ptolémée Philopator, furent conduites par des soldats au *lieu de l'exécution* [3]. Ceux qui avaient tué leurs enfants étaient *publiquement* gardés pendant les trois jours qu'ils devaient rester liés aux cadavres de leurs victimes [4]. Mais qui était chargé de l'exécution de la peine capitale? Avait-on recours, comme dans l'Inde brahmanique, aux membres d'une classe dégradée [5]? Confiait-on cette triste tâche, comme chez les Juifs, aux témoins à charge ou à des soldats désignés par leurs supérieurs? Ici de nouveau le champ est ouvert aux conjectures des jurisconsultes et des érudits. Nous savons seulement que la loi égyptienne, proclamant un principe qui fut plus tard admis par tous les peuples civilisés, exigeait que la femme enceinte, condamnée à mort, ne subît sa peine qu'après l'accouchement [6]. Nous savons aussi qu'on administrait une boisson enivrante aux condamnés qui allaient subir leur supplice : mesure incontestablement dictée par un sentiment louable d'humanité, mais qu'on est étonné de trouver à une époque où la terreur inspirée par le supplice était à peu près le seul but de la législation criminelle [7].

[1] C'était, en effet, bien plutôt une commutation de peine que la suppression de la peine de mort. Diodore dit que Sabacon faisait travailler les « condamnés à mort. »

[2] Voy. ci-dessus, p. 41, note 1.

[3] Voy. ci-dessus, p. 45, et Plutarque, *Agis et Cléomène*, c. LXX.

[4] Diodore, liv. I, c. 77.

[5] Les Égyptiens avaient des classes de cette espèce. (Voy. nos *Considérations sur la théorie du progrès indéfini*, 2e édit., p. 253.) — Michaelis (*Mosaïsches Recht*, § 252) prétend, mais sans donner des preuves, que le *Princeps militum* du v. 3 du c. XL de la *Genèse* était le *Praefectus carnificum*.

[6] Diodore, liv. I, c. 77.

[7] Un usage analogue existait chez les Juifs. C'était ce breuvage, composé de vin et de myrrhe, qu'un soldat romain offrit à Jésus qui refusa de le boire. — De Pauw (*Recherches sur les Égyptiens*, etc., t. II, p. 336; édit. de Paris, 1822) prétend qu'on se bornait en Égypte à faire avaler au condamné quelques grains d'encens.

Au-dessous de la peine de mort se trouvait celle des travaux publics, et les condamnés de cette catégorie étaient, eux aussi, très-nombreux en Égypte. Les uns, *tout enchaînés,* comme ceux dont Sabacon avait commué les peines, construisaient des digues ou creusaient des canaux d'irrigation [1]; les autres, comme ceux qu'on employait à l'extraction de l'or sur les frontières de l'Éthiopie, étaient conduits dans les mines. Le sort de ces derniers était d'autant plus déplorable que, par un absurde préjugé de la solidarité du sang, leur famille entière était quelquefois condamnée à partager leur captivité [2]. Diodore a tracé un tableau saisissant de la triste condition à laquelle ils étaient réduits. C'est une page que nous devons transcrire, ne fût-ce que pour prouver que, si une pensée de commisération se manifestait au moment de l'exécution des condamnés à mort, les sentiments d'humanité étaient cependant très-loin d'avoir pénétré dans toutes les parties de la législation criminelle des bords du Nil. « A l'extrémité de l'Égypte, dit-il, se trouve un » endroit riche en mines d'or, d'où l'on tire ce métal à force de bras, par » un travail pénible et à grands frais..... Ceux qui dirigent les travaux de » ces mines emploient un très-grand nombre d'ouvriers, qui sont tous des » criminels condamnés..... Ces malheureux, tout enchaînés, travaillent jour » et nuit sans relâche, privés de tout espoir de fuir, sous la surveillance de » soldats étrangers parlant des langues différentes de l'idiome du pays, afin » qu'ils ne puissent être gagnés ni par des promesses ni par des prières. La » roche qui renferme l'or étant très-compacte, on la rend cassante à l'aide » d'un grand feu, et on la travaille ensuite des mains; lorsque le minerai, » devenu ainsi friable, est susceptible de céder à un effort modéré, *des mil-* » *liers de ces misérables* le brisent avec des outils de fer qui servent à » tailler les pierres. Celui qui reconnaît la veine d'or se place à la tête des » ouvriers et leur désigne l'endroit à fouiller. Les plus robustes des malheu- » reux condamnés sont occupés à briser le silex avec des coins de fer, en » employant pour ce travail, non les moyens de l'art, mais la force de leurs » bras..... Ils travaillent ainsi sans relâche, sous les yeux d'un surveillant

[1] Voy. ci-dessus, p. 49.

[2] Nous avons constaté cette solidarité dans la plupart des pays asiatiques. Voy. notre travail déjà cité *Sur la législation criminelle de l'Inde brahmanique.*

» cruel qui les accable de coups. Des enfants encore impubères pénètrent, » par les galeries souterraines, jusque dans les cavités des rochers, ramas- » sent péniblement les fragments de minerai détachés et les portent au de- » hors, à l'entrée de la galerie. D'autres ouvriers, âgés de plus de trente » ans, prennent une certaine mesure de ces fragments et les broient dans » des mortiers de pierre avec des pilons de fer, de manière à les réduire à » la grosseur d'une orobe [1]. Le minerai ainsi pilé est pris par des femmes » et des vieillards qui le mettent dans une rangée de meules, et, se plaçant » deux ou trois à chaque manivelle, ils réduisent par la mouture chaque » mesure de minerai pilé en une poudre aussi fine que la farine. Tout le » monde est saisi de commisération à l'aspect de ces malheureux, qui se » livrent à ces travaux pénibles, sans avoir autour du corps la moindre » étoffe qui cache leur nudité. On ne fait grâce, ni à l'infirme, ni à l'es- » tropié, ni au vieillard débile, ni à la femme malade. On les force tous au » travail à coups redoublés, jusqu'à ce que, épuisés de fatigues, ils expirent » à la peine. C'est pourquoi ces infortunés, ployant sous les maux du pré- » sent, sans espérance de l'avenir, attendent avec joie la mort, qui leur est » préférable à la vie [2]. » Ces dernières lignes surtout doivent fixer l'atten- tion, parce qu'elles prouvent que la peine était en général perpétuelle.

A la suite des travaux forcés à temps ou à perpétuité, existait probable- ment une longue série de peines expressives, qui étaient le résultat d'une double pensée : faire périr l'instrument de l'infraction et empêcher le coupable de commettre désormais le même crime. Les faux monnayeurs, ceux qui alté- raient les poids et les mesures ou contrefaisaient les sceaux, ceux qui alté- raient les actes publics ou rédigeaient de fausses écritures, étaient condamnés à avoir les deux mains coupées [3]. Le viol commis sur la personne d'une

[1] Fruit semblable à une lentille.

[2] Liv. III, c. 12 et 13. Traduct. de M. Ferd. Hoefer.

[3] Champollion-Figeac critique vivement le passage où Diodore place au nombre des anciennes lois de l'Égypte celle qui punissait par la mutilation des deux mains la fabrication de la fausse monnaie. Il se prévaut de ce que, suivant Hérodote, Darius, fils d'Hystaspe, fut le premier prince qui fit battre de la monnaie de l'or le plus pur (*Égypte ancienne*, p. 39). Cette critique est mal fondée. D'abord, Hérodote n'affirme pas que Darius fut le premier qui fit frapper de la mon- naie d'or; il dit simplement que Darius fit frapper de la monnaie d'or (livre II, c. 166); en-

femme libre avait pour peine la perte des parties génitales, parce que ce crime renfermait en lui-même trois maux très-grands : l'insulte, la corruption des mœurs et la confusion des enfants [1]. On coupait le nez de la femme adultère, afin de la priver des attraits qu'elle avait employés pour la séduction, tandis que son complice recevait mille coups de verges [2]. On arrachait la langue à l'espion qui avait révélé les secrets de l'État. « Chacun, » dit Diodore, par la punition de la partie du corps avec laquelle le crime » avait été commis, portait, jusqu'à la mort, une marque indélébile qui, par » l'avertissement de ce châtiment, devait empêcher les autres d'agir contre » la loi [3]. » Tel était évidemment le but du législateur; mais ce passage, rapproché de l'ensemble du texte auquel il appartient, prouve aussi, comme nous l'avons déjà dit, que les cas indiqués par l'historien sont simplement énonciatifs. Les annales du droit criminel attestent d'ailleurs que, partout où la mutilation se glisse dans l'échelle pénale, elle se trouve bientôt appliquée à une foule d'infractions diverses. Diodore lui-même raconte qu'Actisanès fit couper le nez et les oreilles aux brigands qui infestaient la haute Égypte, et Hérodote nous a transmis une tradition suivant laquelle on priva de leurs mains les femmes du palais qui avaient aidé Mycerinus à satisfaire sa passion incestueuse pour sa fille [4].

Les Égyptiens connaissaient en outre la servitude pénale, le fouet, le jeûne forcé, la relégation, l'exil, l'emprisonnement et la déclaration d'infamie.

Sous le Pharaon qui eut Joseph pour ministre, la servitude pénale pouvait

suite, quand même on admettrait ce fait, on n'aurait pas encore le droit de reprocher ici une erreur à Diodore. Champollion lui-même dit que les Égyptiens, avant l'époque de Darius, se servaient, à l'intérieur, d'une monnaie de convention, et, au dehors, d'anneaux d'or ou d'argent d'un poids déterminé ou vérifié. Est-ce que l'altération ou la contrefaçon de cette monnaie de convention, de ces *anneaux vérifiés*, n'était pas, en réalité, un acte de faux monnayeur?

[1] Diodore, liv. I, c. 78.

[2] Nous avons vu ci-dessus, p. 42, que, dans la législation primitive de l'Égypte, on était beaucoup plus sévère. L'adultère de la femme était puni par le bûcher.

[3] Diodore, *ibid.*

[4] Liv. II, c. 131. Nous ne voulons pas discuter sérieusement cette assertion du père de l'histoire; mais il convient cependant de remarquer que, dans l'Inde brahmanique, on mutilait les mains des femmes qui commettaient des attentats à la pudeur sur des personnes de leur sexe. (*Lois de Manou*, liv. VIII, st. 370.)

devenir la conséquence du vol [1]. Mille coups de fouet étaient la peine de l'homme coupable d'adultère [2]. Celui qui ne poursuivait pas devant les tribunaux l'auteur d'un homicide dont il avait été le témoin impuissant, était battu de verges et privé de toute nourriture pendant trois jours [3]. Actisanès relégua dans une contrée déserte les brigands auxquels il avait fait grâce de la vie [4]. Le roi Protée condamna à l'exil Alexandre et tous ceux qui avaient contribué au rapt d'Hélène [5]. L'emprisonnement est plusieurs fois mentionné par les historiens, et nous avons déjà vu que le régime des maisons de détention laissait beaucoup à désirer [6]. La déclaration d'infamie était prononcée contre le soldat qui avait déserté les rangs de l'armée ou qui n'avait point exécuté l'ordre de ses chefs. Cette peine n'était pas perpétuelle. Si, plus tard, le militaire effaçait sa honte par des actes de bravoure, il était rétabli dans son état primitif. « Ainsi, dit l'historien qui nous a transmis ces détails, le législateur » égyptien faisait du déshonneur une punition plus terrible que la mort, pour » habituer les guerriers à considérer l'infamie comme le plus grand de tous » les malheurs; en même temps, ceux qui étaient punis de cette façon pou- » vaient rendre de grands services pour recouvrer la confiance première, » tandis que, s'ils avaient été condamnés à mort, ils n'auraient plus été » d'aucune utilité pour l'État [7]. » C'était, en effet, une pensée aussi belle que salutaire de remplacer, pour la classe des guerriers, les châtiments corporels par une espèce de dégradation morale, en laissant au soldat flétri le moyen de se réhabiliter par la valeur et la gloire [8].

[1] Nous suivons ici l'opinion émise par le marquis de Pastoret (*Hist. de la législ.*, t. II, p. 249), tout en avouant qu'elle peut donner lieu à des objections sérieuses. Il invoque l'épisode de l'arrestation de Benjamin (*Genèse*, XLIII et XLIV). Après la découverte de la coupe, tous les fils de Jacob dirent à Joseph : *Nous sommes vos esclaves.*

[2] Diodore, liv. I, c. 78.

[3] Diodore, liv. I, c. 77.

[4] Diodore, liv. I, c. 60. Le lieu était digne de sa destination. Une terre couverte de sel; une eau rare et corrompue; une contrée déserte et dépourvue des choses les plus nécessaires à la vie, où la chasse était à peu près le seul moyen de subsistance.

[5] Voy. ci-dessus, p. 48.

[6] Voy. ci-dessus, p. 56.

[7] Diodore, liv. I, c. 78.

[8] Hérodote, liv. II, c. 56, nous apprend que la loi égyptienne déclarait également infâmes

A cette liste déjà longue il faut ajouter deux peines pécuniaires, l'amende et la confiscation des biens.

Une amende fixée par les prêtres était infligée à celui qui tuait involontairement un animal sacré, autre que l'ibis, le chat et l'épervier [1]. Une forte amende était comminée contre l'artisan qui prenait part aux affaires publiques ou exerçait une profession autre que le métier qui lui était assigné par les lois et transmis par ses parents; circonstance qui prouve, parmi beaucoup d'autres, que la séparation des diverses classes de la nation était maintenue beaucoup plus rigoureusement que ne le croient quelques savants de notre époque [2]. De « fortes amendes » étaient également infligées à ceux qui portaient une fausse accusation au tribunal des sépultures [3]. Quant à la confiscation générale, elle existait si bien en Égypte que les historiens accusent Amasis d'en avoir abusé pour s'approprier les richesses de ses sujets [4]. Elle figure du reste en termes formels dans le célèbre édit par lequel Ptolémée Philadelphe ordonna l'affranchissement des Juifs. Ce prince l'employa comme sanction de ses ordres [5].

Enfin, au-dessus de ce vaste système de répression, dont nous entrevoyons à peine les lignes principales, planait en quelque sorte, comme un dernier avertissement et une garantie suprême, le refus de la sépulture religieuse. Nous avons déjà dit que, pour être condamné à cette peine flétrissante, il ne fallait ni avoir commis un crime prévu par les lois nationales, ni même avoir été mis régulièrement en accusation avant la mort; il suffisait de mener « une mauvaise vie [6]. » C'était une dernière et solennelle proclamation de

ceux qui se nourrissaient de froment et d'orge. Il est difficile de découvrir la raison de cette prohibition. — Isocrate, dans l'*Éloge de Bussiris*, rappelle assez inutilement que les guerriers égyptiens ne pouvaient s'absenter sans la permission de leur chef. Il aurait mieux fait d'indiquer la peine qui frappait l'absence autre que la désertion.

[1] Hérodote, liv. II, c. 65. Celui qui tuait, même involontairement, un ibis, un épervier ou un chat, était puni de mort. Voy. ci-dessus, p. 44.

[2] Diodore, liv. I. c. 74.

[3] Diodore, liv. I, c. 92. — Les cas que nous venons d'indiquer prouvent combien De Pauw se trompait dans ses *Recherches* (t. II, p. 271; édit. citée), en disant que les Égyptiens n'admettaient l'amende que pour le seul cas où l'on tuait involontairement des animaux sacrés.

[4] Diodore, liv. I, c. 60.

[5] Voy. ci-dessus, p. 30, note 6.

[6] Voy., ci-dessus, p. 27.

l'iniquité du vice et de l'excellence de la vertu, et cette haute portée de la juridiction du tribunal des sépultures n'avait pas échappé aux Grecs qui venaient admirer les merveilles de la vallée du Nil. « Les Grecs, dit Diodore, » ont voulu, à l'aide de quelques fictions décriées, faire croire à la récom- » pense des bons et à la punition des méchants. Mais ces fictions, loin d'en- » courager les hommes au bien, ont été tournées en dérision par les méchants » et grandement discréditées. Chez les Égyptiens, au contraire, le châti- » ment du vice et l'honneur rendu à la vertu ne sont pas une fable, mais » des faits visibles qui rappellent journellement à chacun ses devoirs et » deviennent ainsi la plus puissante sauvegarde des mœurs [1]. »

Mais est-il vrai que, parmi toutes les peines que nous avons énumérées, il n'en existât aucune qui fût destinée à la répression du vol? Devons-nous admettre qu'un acte flétri par toutes les législations anciennes et modernes fût déclaré licite en Égypte? Diodore de Sicile et quelques autres écrivains de l'antiquité se permettent cette singulière affirmation [2]. Diodore raconte gravement que tous ceux qui voulaient se livrer *à l'industrie du vol* étaient obligés de se faire inscrire chez le chef des voleurs et de lui rapporter immédiatement le produit de leurs larcins. Les victimes du vol devaient, à leur tour, se faire inscrire chez le même chef, en lui fournissant l'indication exacte des choses dérobées, du jour, de l'heure et du lieu de la soustraction. Les objets volés étaient aussitôt recherchés et rendus à leur propriétaire, à condition de payer le quart de leur valeur pour les reprendre. Non-seulement Diodore croit à l'existence de cet étrange système, mais il s'efforce de le justifier. A son avis, le législateur, ne pouvant empêcher « tout le monde de voler », avait sagement imaginé le moyen de faire restituer, pour une modique rançon, tout ce qui était dérobé aux Égyptiens [3].

Il est évident que l'historien a mal saisi le langage de l'interprète qui le guidait dans ses courses à travers un pays dont les lois et les mœurs s'éloignaient si considérablement des coutumes de sa patrie. Son récit n'est pas seulement en contradiction avec les exigences de la raison et les traditions

[1] Diodore, liv. I, c. 93.

[2] Voy. Aulu-Gelle, *Noctes atticæ*, liv. XI, c. 18.

[3] Liv. I, c. 80.

de la morale universelle : il se trouve formellement repoussé par des témoignages explicites, dont l'incontestable valeur ne saurait être mise en discussion. Dans le récit d'un vol important qu'ils firent à Hérodote, les prêtres d'Héliopolis mirent les paroles suivantes sur les lèvres d'un voleur pris au piége tendu par ordre du roi : « Frère, coupe-moi la tête; car, si je suis » vu et reconnu, *je te perds en même temps que moi* [1]. » Les mêmes prêtres lui dirent qu'Amasis, avant de monter au trône, avait été plusieurs fois puni comme voleur [2], et nous avons déjà rappelé que, suivant la *Genèse*, le vol, à l'époque où vivait Joseph, était réprimé par la servitude pénale [3]. On pourrait objecter, il est vrai, que ces peines ne frappaient que les voleurs non autorisés et ceux qui, s'étant fait inscrire, ne rendaient pas un compte fidèle de leurs rapines. Mais, en tenant ce langage, on s'écarterait complétement de tout ce que nous savons du caractère religieux et social de la civilisation égyptienne. Comment admettre la tolérance du vol, dans un pays où chaque chef de famille devait faire connaître ses moyens d'existence; où les lois prononçaient la peine de mort contre celui qui vivait de « gains illi- » cites; » où la simple altération d'un poids ou d'une mesure était punie de la perte des deux mains?

Quand les prêtres chargés de l'embaumement avaient mis les intestins et les principaux viscères dans les vases destinés à les recevoir, l'un d'eux prononçait, au nom du mort, cette prière solennelle : « Soleil, et vous tous, » dieux éternels, vous qui donnez l'existence à l'homme, recevez-moi dans » les demeures éternelles que vous habitez! J'ai suivi religieusement le culte » de mes pères; j'ai constamment honoré mes parents; je n'ai jamais souillé » mes mains du sang de mes semblables; je n'ai jamais été un dépositaire » infidèle; je n'ai pas fait le mal et me suis soigneusement abstenu de *toute* » *injustice*. Si j'ai commis quelques excès en mangeant ou en buvant, ce » n'est pas à moi, mais à ceux-ci que vous devez les imputer [4]. » En pro-

[1] Hérodote, liv. II, c. 121. Nous admettons que cette histoire n'est qu'un mythe, mais elle n'en conserve pas moins toute sa valeur au point de vue de la question qui nous occupe : la punition du vol en Égypte.

[2] Hérodote, liv. II, c. 174.

[3] *Genèse*, XLIII, 18, XLIV, 9, 16.

[4] Voy. Porphyre, *De Abstin.*, l. IV, c. 10.

nonçant ces dernières paroles, le prêtre prenait les vases et les jetait dans le Nil.

Le sens et la portée de cette cérémonie religieuse, répétée chaque jour sur tous les points du territoire, fournissent ici un argument décisif. N'est-il pas évident que, si l'injustice suffisait pour interdire à son auteur l'accès des demeures éternelles, le vol, qui est l'injustice par essence, ne pouvait être rangé au nombre des gains licites? Le fait offre d'autant plus d'importance qu'il est loin d'être isolé. Dans ces rituels funéraires qu'on déposait sur la poitrine des momies et dont tous les musées de l'Europe possèdent de nombreux fragments, l'âme du mort paraissant devant le juge infernal fait la confession suivante : « Je n'ai pas blasphémé. Je n'ai pas trompé. *Je n'ai pas* » *volé*. Je n'ai pas divisé les hommes par mes machinations. » On sait que les législateurs de l'Égypte n'avaient pas l'habitude de tolérer les actes prohibés par le culte national.

Le savant De Pauw propose une explication ingénieuse, qui pourrait très-bien être conforme à la réalité des faits. Il croit qu'on a pris pour une loi égyptienne une espèce de traité ou de concordat avec les Arabes nomades, qui, malgré toutes les précautions qu'on avait prises pour arrêter leurs brigandages, dépouillaient les caravanes et venaient parfois faire des excursions dans les cantons voisins des frontières. On sait, en effet, que, dans les temps modernes, des traités de ce genre ont été conclus avec les Bédouins de la Syrie, et cet exemple, connu de tous, fournit un argument on ne peut plus sérieux en faveur de l'hypothèse émise par le célèbre philologue hollandais. L'inscription du nom des voleurs, les déclarations imposées à leurs victimes, l'impôt prélevé sur les choses soustraites, en un mot, toutes les formalités rapportées par Diodore se réduiraient de la sorte à l'intervention officieuse et intéressée d'un chef de bande du désert [1].

En dernier résultat, nos recherches nous ont prouvé que les Égyptiens connaissaient les peines suivantes : la mort qualifiée, la mort simple, les travaux forcés à temps et à perpétuité, la mutilation du nez, la mutilation des

[1] *Recherches philosophiques sur les Égyptiens*, etc., t. II, p. 266; édit. citée. — La même opinion a été émise par V. Hennequin, *Introduction à l'étude de la législation française*. t. I, p. 367.

deux mains, la mutilation des parties génitales, la servitude, le fouet, le jeûne forcé, la relégation, l'exil, l'emprisonnement, la déclaration d'infamie, la confiscation des biens et l'amende.

Ces peines étaient fréquemment appliquées, et rien n'atteste que les rois du pays se plaisaient à gracier les condamnés. Princes absolus, chefs de la magistrature nationale, despotes divinisés, ils possédaient incontestablement le droit de grâce et même celui d'accorder des lettres d'abolition; mais les annales de l'Égypte ne mentionnent qu'un très-petit nombre de ces actes de clémence. Dans un récit probablement mythique, rapporté par Hérodote, on voit Rampsinite exempter de toute poursuite et choisir pour gendre un voleur adroit qui avait fait de larges brèches au trésor royal [1]. Sésostris « renvoya » absous » tous les prisonniers d'État que la tyrannie soupçonneuse de son prédécesseur avait entassés dans les prisons [2]. Ces deux exemples sont à peu près les seuls faits de ce genre dont l'histoire nous ait conservé le souvenir.

IV.

RÉFLEXIONS GÉNÉRALES.

Les savants modernes qui ont approfondi les annales de l'Égypte se partagent en deux écoles nettement tranchées.

Les uns ne voient qu'un engouement irréfléchi dans la réputation traditionnelle de sagesse dont les Égyptiens jouissaient chez tous les peuples civilisés du monde ancien. Les autres, prenant au sérieux les éloges que tant d'historiens et de philosophes ont prodigués aux riverains du Nil, soutiennent qu'une science pure et profonde fut constamment cultivée dans les temples de cette terre privilégiée.

Les fragments de la législation criminelle de l'Égypte parvenus jusqu'à nous ne sont pas de nature à mettre un terme à cette controverse séculaire.

[1] Hérodote, liv. II, c. 121.
[2] Diodore, liv. II, c. 54.

Les partisans des deux opinions y peuvent chercher et trouver des arguments à l'appui de leurs thèses contradictoires.

Complétement désintéressé dans la querelle, et écartant toute digression étrangère à notre sujet, nous nous contenterons d'émettre quelques aperçus sur le caractère réel des institutions répressives qui, pendant plusieurs siècles, se maintinrent, à peu près sans altération, dans la vallée du Nil, sous la double égide du sacerdoce et du trône.

Les détails que nous possédons sur l'organisation judiciaire de l'empire des Pharaons dénotent une étude attentive des besoins et des intérêts du corps social. Des tribunaux établis sur des bases uniformes, classés dans un ordre hiérarchique, disséminés dans toutes les parties du pays et se mouvant, pour ainsi dire, autour d'un tribunal suprême siégeant dans la capitale religieuse du royaume; le concours du pouvoir royal et du pouvoir judiciaire dans la nomination des chefs de la magistrature nationale; le droit de saisir la justice répressive, accordé aux citoyens, aux étrangers et même aux esclaves; l'obligation imposée à tous les habitants d'aider les juges, autant qu'il dépendait d'eux, dans la répression des écarts de la vengeance individuelle; les droits de la société maintenus dans toute leur intégrité, malgré les transactions intervenues entre le délinquant et ses victimes; la création de tribunaux particuliers pour les militaires et les commerçants étrangers; l'admission d'une justice domestique pour les délits légers en eux-mêmes ou envisagés comme tels par le législateur; l'institution d'un tribunal des sépultures, investi du redoutable pouvoir de se prononcer sans recours sur la vie tout entière de ceux que leurs fonctions ou leurs richesses avaient mis momentanément à l'abri de la vindicte des lois; l'idée d'une divinité vengeresse, toujours présente à l'esprit des magistrats et des plaideurs : toutes ces remarquables conceptions, qu'on ne s'attend pas à rencontrer à l'origine des temps historiques, sont évidemment le produit d'une rare sagacité, jointe à une longue et fructueuse expérience des affaires judiciaires. Si ce tableau, comparé à celui que présentent les institutions des temps modernes, contient des lacunes et des ombres, son ensemble est, sans contredit, de nature à confirmer la réputation de haute sagesse dont les Égyptiens jouissaient dans tous les pays civilisés du monde ancien. Sous ce rapport, Diodore de Sicile

n'a point exagéré en disant que les Égyptiens avaient mis un grand soin à organiser convenablement l'ordre judiciaire [1].

Malheureusement la scène change complétement d'aspect lorsque, laissant de côté l'organisation des tribunaux, on se demande quelles furent, pour le bien-être et la dignité des habitants de l'Égypte, les conséquences des lois pénales proprement dites.

En se plaçant à ce point de vue, on s'aperçoit bientôt que le législateur criminel, peu soucieux de la recherche d'une théorie savante, moins soucieux encore des exigences de l'équité, avait obéi à des considérations exclusivement politiques.

Actisanès, en faisant mutiler les auteurs de crimes capitaux qui encombraient les prisons au début de son règne, parvint à fonder une ville nouvelle aux limites du désert. Sabacon, remplaçant la peine de mort par celle des travaux forcés, obtint assez d'ouvriers pour « construire de nombreuses » digues et creuser beaucoup de canaux utiles. » D'autres récits, empruntés à l'Écriture sainte, à Hérodote, à Lucien, à Josèphe, à Diodore de Sicile, nous montrent les maisons de détention constamment remplies d'une multitude de prisonniers appartenant à toutes les classes [2].

Il est évident que les crimes dont nous avons dressé la liste ne pouvaient pas seuls produire ces effrayantes agglomérations de coupables ; car, indépendamment des malheureux qui remplissaient les prisons, creusaient les canaux, raffermissaient les digues ou étalaient sous les yeux de la foule le hideux tableau de leurs mutilations, des « *milliers de condamnés* » [3], hommes, femmes, vieillards, enfants, travaillaient sans relâche au fond des vastes souterrains dont l'historien d'Agyre nous a laissé l'effrayante description [4]. Dans un pays de l'étendue de l'Égypte, l'existence de cette multitude de condamnés était manifestement le produit d'une législation impitoyable, pénétrant jusque dans

[1] Liv. I, c. 75.

[2] Il importe de remarquer que Diodore, en parlant des mesures qu'il attribue à Actisanès et à Sabacon, ne manifeste aucun étonnement du nombre considérable de condamnés dont les peines furent commuées ; il raconte les faits comme des événements qui, au point de vue de la moralité du pays, ne présentent rien d'extraordinaire.

[3] C'est l'expression employée par Diodore. Voy. ci-dessus, p. 51.

[4] Voy. ci-dessus, p. 51.

les derniers détails de la vie, courbant toutes les têtes et maintenant, à tous les degrés de l'échelle sociale, une sujétion incompatible avec la nature intelligente, libre et spontanée de l'homme. La race égyptienne ne se distinguait guère par la turbulence de son humeur ou la violence désordonnée de ses passions. Humble et résignée, aveuglément soumise à ses rois et à ses prêtres, on l'avait de longue main façonnée à subir sans murmure toutes les exigences d'un despotisme à la fois religieux et politique. Chez un tel peuple, le nombre excessif des infractions ne s'explique que par une interminable série d'actes incriminés par la loi pénale. « Cette bonne police de l'Égypte », tant vantée par Bossuet, dans son *Discours sur l'Histoire universelle,* n'était autre chose que la substitution, aussi complète que possible, de la volonté despotique du législateur à l'initiative individuelle des citoyens de toutes les classes. L'illustre évêque de Meaux a commis la même erreur que les voyageurs de l'antiquité, qui parcouraient rapidement les nomes les plus riches et les plus peuplés. Voyant partout régner l'abondance et l'ordre, assistant dans toutes les villes à des fêtes religieuses et nationales, rencontrant à chaque pas des monuments empreints d'une incontestable grandeur, ils admiraient la puissance des lois de l'Égypte, et, à leur retour, cette admiration était bientôt partagée par leurs compatriotes. Ils ne disaient pas que l'asservissement impitoyable de toutes les intelligences et de toutes les volontés servait de base à cette civilisation si pleine de merveilles!

Ici donc le blâme doit remplacer l'éloge. Au lieu de poursuivre, comme on l'a dit tant de fois, la réalisation d'un idéal élevé, fourni par une science profonde et pure conservée à l'ombre du sanctuaire, les maîtres de l'Égypte n'avaient d'autre but que de perpétuer leur domination à l'aide d'une multitude de prescriptions minutieuses sanctionnées par des peines terribles. L'idéal de la législation criminelle était pour eux un catalogue largement exagéré de délits et de peines. Dans un système de répression étroitement uni au culte, ils cherchaient le moyen d'imprimer aux coutumes nationales ce caractère de permanence et d'immobilité qui fut toujours l'objet de leurs efforts les plus énergiques. La sécurité, la liberté, la dignité du peuple n'arrivaient qu'en seconde ligne. Que pouvait être la dignité de l'homme, dans un pays où les pères de famille devaient, sous peine de mort, au début de

chaque année, remettre aux chefs des nomes l'indication détaillée de leurs moyens d'existence; où de « fortes » amendes venaient ruiner l'artisan qui avait l'audace de s'occuper des affaires publiques? Que devenait la liberté et la sécurité du citoyen, sous le régime d'une législation qui permettait aux prêtres de condamner au dernier supplice tous ceux qui, à leurs yeux, faisaient des gains illicites? Autant que l'état incomplet de nos connaissances permet de porter un jugement équitable sur les institutions de l'Égypte, nous pouvons affirmer que les idées généreuses qui se révèlent dans l'organisation judiciaire ne se retrouvaient pas dans la détermination des délits et la distribution des peines.

Il en résultait que le législateur, toujours préoccupé d'un but politique, commettait à chaque pas de déplorables inconséquences dans l'application des principes.

En voyant frapper de la même peine le meurtre du citoyen et le meurtre de l'esclave, on s'imagine que le grand principe de l'égalité de tous devant la loi pénale était solennellement proclamé sur les bords du Nil; tandis que, quelques pages plus loin, quand il s'agit de la répression des attentats à la pudeur, on est tout surpris de voir apparaître le principe tout opposé de l'inégalité des droits suivant l'inégalité des conditions. Celui qui était convaincu d'avoir violé une femme libre devait avoir les parties génitales coupées, parce que ce crime, suivant l'expression employée par Diodore de Sicile, comprenait en lui-même trois maux très-grands, l'insulte, la corruption et la confusion des enfants [1]. Il s'en fallait de beaucoup que la même protection fût accordée à la femme esclave. Le silence de l'historien permet de supposer que toutes les conséquences du fait se réduisaient à une action civile accordée au propriétaire de l'esclave outragée; mais, en tout cas, la peine était différente, puisque Diodore a soin de faire remarquer qu'il ne parle que de la femme libre. C'est que le législateur égyptien, en punissant de la même manière l'assassin de l'esclave et l'assassin du citoyen, n'était nullement guidé par la pensée de rendre un éclatant hommage à la communauté d'origine de l'espèce humaine; il voulait simplement donner à tous une

[1] Voy. ci-dessus, p. 55.

haute idée de l'inviolabilité de la vie, et protéger ainsi indirectement les maîtres eux-mêmes contre les conséquences éventuelles des haines de leurs subordonnés [1]. Il n'avait pas cru que les intérêts des classes libres exigeassent les mêmes précautions à l'égard des attentats à la pudeur : voilà tout ! On se trompe en disant que la vie de l'esclave jouissait de la protection commune, parce que le genre humain, plus rapproché de son origine, se souvenait encore de son berceau commun [2]. C'est attribuer aux Égyptiens des idées et des sentiments complétement étrangers à leur redoutable système de répression. Si nous possédions la liste complète des délits et des peines, l'inégalité signalée par Diodore ne serait certainement pas la seule que nous y découvririons. L'instinct de l'égalité n'existait pas dans un pays où les classes populaires, elles-mêmes asservies, voyaient au-dessous d'elles de nombreux troupeaux d'esclaves, lesquels, à leur tour, faisaient envie à la caste abjecte et dégradée des gardiens de pourceaux, dont la présence seule imprimait une souillure [3].

Un autre exemple, plus remarquable encore, nous est fourni par l'attitude que le législateur criminel avait prise à l'égard de la famille des condamnés.

Une femme enceinte, condamnée à mort, ne subissait sa peine qu'après être accouchée. Au témoignage de Diodore de Sicile, les magistrats de l'Égypte auraient trouvé souverainement injuste d'étendre à un être innocent la peine méritée par une mère coupable, et de faire ainsi expier par la vie de deux personnes le crime commis par une seule. Or, dès l'instant qu'il s'agissait d'un crime politique, ce principe de justice élémentaire, si bien compris et si bien expliqué, se trouvait complétement écarté, parce qu'on croyait utile de frapper de terreur tous ceux qui pourraient être tentés d'introduire des changements dans la constitution du royaume. La mère, les sœurs, les enfants, la famille entière du conspirateur était livrée au bourreau [4]. Le même système d'implacable rigueur était souvent suivi quand le père était condamné aux travaux forcés à perpétuité. Dans les mines qui se trouvaient

[1] Diodore le dit en termes formels. (Liv. I, c. 77.) Voy. ci-dessus, p. 46.

[2] Opinion émise par M. A. Du Boys, *Histoire du droit criminel des peuples anciens*, p. 22.

[3] Voy. nos *Considérations sur la théorie du progrès indéfini*, 2e édit., p. 253.

[4] Plutarque, *Vie d'Agis et de Cléomène*, c. LXX.

aux confins de l'Éthiopie, on voyait des enfants impubères, partageant le sort affreux de leurs parents coupables, ramasser péniblement et traîner jusqu'à l'entrée des galeries souterraines les fragments de minerai détachés des voûtes. Leur travail pouvait servir à l'alimentation du trésor royal [1]!

Sans doute, les sentiments d'humanité n'étaient pas complétement bannis de la législation criminelle de l'Égypte. On n'y découvre pas, dans l'exécution de la peine de mort, ces raffinements de cruauté froide et barbare dont les annales judiciaires des peuples de l'Orient fournissent de si nombreux exemples. Le délai accordé aux femmes enceintes condamnées à la peine capitale, la boisson enivrante administrée aux malheureux qu'on conduisait au supplice, la pratique rude et primitive du talion réduite au seul cas de la dénonciation calomnieuse, le meurtre de l'esclave puni à l'égal de celui de l'homme libre, toutes ces dispositions, quel que fût leur motif, sont assurément très-remarquables pour l'époque où nous les voyons apparaître dans le droit égyptien. Mais ici, comme chez tous les peuples de ces âges reculés, il ne faut pas chercher les idées philanthropiques et les tendances réformatrices de nos lois modernes. Ainsi que nous l'avons déjà dit, le législateur des bords du Nil voyait dans le catalogue des délits et des peines l'un des moyens les plus efficaces de maintenir, dans toute leur force et dans toute leur intégrité, les institutions sociales qu'il voulait perpétuer sur le sol de l'Égypte. Tel était le but qu'il cherchait à atteindre, la mission qu'il se croyait obligé de remplir, dans le domaine de la justice répressive comme dans toutes les autres sphères de la vie sociale. Quand il s'agissait de garantir l'immutabilité de la constitution religieuse, politique et civile du pays, toute autre considération disparaissait devant les exigences de cet intérêt suprême. C'est à cette conséquence qu'on vient inévitablement aboutir lorsque, tenant compte de tous les faits et pesant tous les témoignages, on recherche, sans esprit de système, les causes du nombre immense de délinquants que les voyageurs de l'antiquité rencontraient sur la terre sacrée de Kémé.

Bien d'autres questions se présentent. Quel était le caractère des peines temporaires? Étaient-elles fixes et invariables? Laissait-on, quant à leur

[1] Diodore, liv. III, c. 13.

durée, une certaine liberté d'appréciation au tribunal chargé de les appliquer? Dans quelle mesure le juge pouvait-il avoir recours au cumul des peines [1]? Quelle était la punition du vol, aux diverses époques de la monarchie égyptienne? Dans quelle mesure s'occupait-on des infractions commises en pays étranger [2]? Quels étaient les crimes qui entraînaient la condamnation aux travaux forcés à temps ou à perpétuité? Connaissait-on la prescription dans les matières criminelles [3]? Quelle décision avait-on prise à l'égard de la tentative et de la récidive? Pour toutes ces demandes et, en général, pour tous les détails de la législation pénale, les éléments d'une réponse satisfaisante font complétement défaut. Nous devons le répéter ici : la nation qui, plus que toutes les autres, se montra constamment préoccupée du jugement des générations futures, est précisément celle dont les institutions et les lois donnent lieu aux controverses les plus épineuses. C'est bien le cas de s'écrier avec le poëte :

Cuncta trahit secum vertitque volubile tempus :
Nec patitur certa currere quemque via!

[1] Nous connaissons un exemple de ce cumul. Celui qui ne dénonçait pas les assassins était battu de verges et privé de toute nourriture pendant trois jours. (Hérodote, liv. I, c. 77.)

[2] Si l'on devait accepter comme historique le récit du bannissement d'Alexandre (ci-dessus, p. 48), il en résulterait que les Égyptiens se croyaient obligés de s'occuper même des infractions commises en pays étranger par des étrangers.

[3] Ils connaissaient, au moins sous les Ptolémées, la prescription en matière civile.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION. — On trouve en Égypte un mythe analogue à celui que les brahmanes ont placé près du berceau de la législation de l'Inde. — Thoth révélateur et législateur. — Thoth précepteur et guide d'Isis. — Les quarante-deux livres sacrés. — Origine divine et, par suite, immutabilité absolue des principes fondamentaux de la législation civile et criminelle. — Rareté des documents et des témoignages relatifs à l'histoire des institutions judiciaires de l'Égypte ancienne. — Insuffisance des découvertes modernes dans la sphère de la législation. — Confusion à éviter. — Objet et but du mémoire . . . . . Pag 2

I — Source et exercice du droit de punir. — Organisation judiciaire de l'Égypte ancienne. — Le droit de punir était envisagé comme une délégation de la puissance divine. — Double élément qu'on rencontre dans l'organisation du pouvoir judiciaire de l'Égypte : la royauté et la classe sacerdotale. — Les rois avaient le droit de juger avec une autorité souveraine : preuves et exemples. — Tribunaux ordinaires. — Cour centrale de Thèbes. — Tribunaux des nomes. — Tribunaux de police. — Composition, compétence et rang hiérarchique de ces tribunaux. — Priviléges judiciaires des prêtres. — Y avait-il un tribunal d'exception dans le célèbre labyrinthe du nome arsinoïte? — Tribunaux militaires. — Tribunal d'exception pour les Grecs établis sur le territoire de Naucratis; sa juridiction réelle. — Tribunal domestique; pouvoir judiciaire du père de famille. — Composition, mode de procéder et destination du tribunal sacerdotal des sépultures; 10

II. — Instruction criminelle. — Le droit d'accusation devant les tribunaux criminels de l'Égypte. — L'action publique pouvait être intentée par tous les habitants du pays, sans distinction entre les indigènes et les étrangers : preuves et exemples. — Procédure suivie devant les tribunaux domestiques. — Procédure devant les tribunaux proprement dits. — Instruction par écrit. — Double échange de mémoires. — Proscription de la plaidoirie orale. — Solennité de l'audience. — Notification symbolique de la sentence des juges. — Le serment. — Les enquêtes. — La question préparatoire. — Le « jugement de Dieu » dans la procédure égyptienne. — La détention préventive. — Lacunes importantes que présente cette partie de l'histoire de la législation 29

III. — Les délits et les peines. — Les codes criminels de l'Égypte. — Thoth législateur.

— Autres législateurs énumérés par Diodore de Sicile. — Témoignages fournis par les inscriptions des monuments. — Catalogue exagéré de délits et de peines résultant de l'organisation religieuse, politique et administrative du pays. — Peine capitale. — Mort simple : la pendaison et la décapitation. — Mort qualifiée : le bûcher, la croix, le supplice asiatique des cendres. — Énumération des crimes capitaux. — Parricide, trahison, rébellion, sacrilége, meurtre, parjure, dénonciation calomnieuse, mensonge dans la déclaration des moyens d'existence, violation des règlements sur l'art de guérir, existence à l'aide de gains illicites, rapt. — Les rois Actisanès et Sabaccon adversaires de la peine de mort; durée éphémère de leur système. — Peine des travaux publics à temps et à perpétuité. — Peines expressives; mutilations fréquentes. — Autres peines : servitude pénale, fouet, jeûne forcé, relégation, exil, emprisonnement, déclaration d'infamie, confiscation des biens, amende. — Controverse étrange au sujet de la peine du vol. — Énumération générale des peines usitées en Égypte. — Sévérité exagérée du système. — Le droit de grâce rarement exercé par les rois de l'Égypte . . . . . Pag. 58

IV. — Réflexions générales. — Controverse entre les savants modernes au sujet du degré de culture intellectuelle atteint par la population de l'Égypte. — L'histoire de la législation criminelle du pays fournit des arguments aux partisans des deux systèmes. — L'organisation judiciaire dénote une étude attentive et une remarquable intelligence des intérêts sociaux. — La législation pénale proprement dite est loin de mériter les mêmes éloges. — Le droit, l'équité, la liberté, tous les principes et tous les intérêts sacrifiés aux exigences de l'organisation politique. — Illusions qui se manifestent dans les écrits des historiens et des jurisconsultes. — Appréciation erronée des faits et de leurs conséquences. — Nature et portée réelle du système de répression en vigueur dans la vallée du Nil. — Réflexions générales 59

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.